P3ductal. Technical handbook

Indice

ductal
preinsulated aluminium ducts system

Note per l'impiego di questo manuale

Accettazione delle informazioni

Questa pubblicazione è stata redatta come manuale di consultazione per gli operatori del settore e non costituisce standard di qualità. L'applicazione dei contenuti ad un progetto, dipende esclusivamente dalla scelta del progettista. La P3 non ha né il potere né l'autorità di far applicare le informazioni qui contenute.

Modifiche

La P3 si riserva di modificare a propria discrezione i contenuti del presente manuale in successive edizioni o mediante supplementi, anche in ordine a eventuali risultati dei lavori del Comitato Europeo di Normazione (CEN), a cui intende uniformarsi.

Interpretazioni formali

Un'interpretazione formale di parti del testo che dovessero risultare di dubbia definizione, può essere richiesta unicamente per iscritto alla P3 che farà seguire la relativa risposta scritta. Interpretazioni orali o scritte, espresse da qualsiasi altra persona, sia fisica che giuridica, sono da considerarsi non ufficiali. Ciò non impedisce a chiunque di esprimere una propria opinione su parti del manuale, purché specifichi chiaramente che si tratta di un'opinione personale e che in nessun modo rappresenta un atto ufficiale della P3.

Applicazione

Le indicazioni contenute in questo manuale sono state sviluppate sulla base di principi di ingegneria e ricerca, con la consulenza e le informazioni ottenute da costruttori, utilizzatori, laboratori sperimentali e altri specialisti del settore. Esse sono soggette a ulteriori revisioni o modifiche se nuove esperienze o necessità le rendessero necessarie o desiderabili. La P3 non assume alcuna responsabilità per l'applicazione dei principi e delle tecniche contenuti in questo manuale. È comunque prevalente, nella progettazione e nella costruzione, il rispetto di leggi o regolamenti emanati dalle autorità competenti in materia.

Permesso d'uso e dl riproduzione

Utilizzo dei logotipi

I logotipi P3, P3ductal, PIRAL e PIRALYTE sono registrati e sono proprietà della P3 Srl; essi sono il segno di identificazione del P3ductal. La P3 prescrive un uso corretto dei logos e vieta espressamente il loro impiego per altri motivi. La presenza dei logos non costituisce in alcun modo approvazione di prodotti, metodi o componenti da parte della P3.

Introduzione

P3ductal nasce dalla pluriennale esperienza P3 nel campo delle canalizzazioni. L'obiettivo è stato quello di creare un prodotto che assommi le caratteristiche di affidabilità e funzionalità con la necessità di industrializzare il processo di costruzione. P3ductal è il risultato di questa filosofia: un canale di alluminio preisolato dalle notevoli prestazioni, il cui sistema di montaggio e posa in opera con specifiche procedure per tutte le sue fasi, semplifica l'attività dell'installatore, garantendo risultati elevati dal punto di vista tecnico, costruttivo ed economico.

Il settore dell'impiantistica è caratterizzato da una incessante evoluzione. Le innovazioni, che vanno dalla progettazione ai sistemi di applicazione fino ai materiali impiegati, tendono a soddisfare le pressanti esigenze di qualità, rispetto dell'ambiente e risparmio energetico.
In alternativa ai sistemi tradizionali in lamiera zincata, si sono avvicendati materiali e sistemi diversi. Fra tutti i canali in alluminio preisolati risultano essere i più accreditati offrendo numerosi vantaggi tecnici e pratici.

La costruzione di canalizzazioni con pannelli sandwich ha avuto inizio in Italia da circa venticinque anni; i primi utilizzatori sono stati i piccoli e piccolissimi installatori che avevano spesso difficoltà ad approvvigionarsi, in tempi brevi, di condotte per l'aria. La semplicità delle attrezzature necessarie alla lavorazione del pannello, e la possibilità di realizzare i canali direttamente anche sul luogo della loro installazione, costituiscono, ancora oggi, alcuni dei punti di forza del sistema sandwich e sono alla base delle preferenze manifestate dagli installatori.
Successivamente il sistema si è diffuso e sviluppato, e la sua applicazione si è estesa a tutte le tipologie di impianti: industriali, civili e commerciali.
Come conseguenza di questo rapido sviluppo si è avuta la costituzione di molte realtà produttive, sparse in tutto il territorio nazionale, che immettono sul mercato canali strutturalmente diversi tra loro, con diverse prestazioni sia dal punto di vista meccanico che fisico.
D'altronde, la mancanza di omogeneità nella costruzione, rendeva impossibile il rilievo di dati caratteristici e la successiva stesura di dati di riferimento che potessero essere divulgati ai progettisti.
Si è sentita, quindi, la necessità di realizzare una documentazione che potesse fissare dei criteri orientativi per la costruzione dei canali in alluminio preisolati e di qualificare questi tipi di impianti rendendo disponibili dati tecnici di riferimento.

Requisiti generali dei canali di distribuzione dell'aria

1.1 Qual è la funzione di un canale?

L'ottenimento di condizioni ambientali prestabilite passa attraverso il controllo di parametri caratteristici quali: temperatura, umidità relativa, velocità e purezza dell'aria, in relazione al variare dei carichi termici in ingresso od in uscita e delle condizioni di affollamento o di attività.

Tale controllo viene in genere ottenuto con impianti a tutt'aria o con impianti misti aria-acqua.

In entrambi i casi l'aria, opportunamente trattata nelle centrali di condizionamento, è lo strumento necessario per assicurare le condizioni richieste.

È nella fase, che va dalla fine del trattamento dell'aria alla sua immissione in ambiente, che possono tuttavia insorgere problematiche qualora la rete di condotte, non sia in grado di assicurare efficacemente il mantenimento dei parametri caratteristici ai valori prestabiliti.

Le funzioni principali che deve pertanto espletare il sistema aeraulico possono essere così riassunte:
- assicurare il vettoriamento dell'aria trattata senza modificarne i parametri caratteristici durante il percorso dalla centrale all'immissione in ambiente della stessa;
- assicurare che non si abbiano perdite o rientrate d'aria incontrollate rispettivamente per le condotte in sovrapressione o in depressione;
- limitare il trasferimento e la generazione di rumore;
- mantenere le prestazioni suddette per un lungo periodo.

Risulta evidente che il sistema aeraulico assume un ruolo fondamentale nell'assicurare prestazioni soddisfacenti all'impianto servito. Ugualmente importante risulta il ruolo giocato dal sistema aeraulico relativamente ai costi di realizzazione e di gestione, che risultano essere di notevole importanza, specialmente per impianti di dimensioni considerevoli (vedi fig. 1.1).

Fig. 1.1 - Realizzazione di un impianto di condizionamento.

1.2 Il canale "ideale"

Il canale "ideale" dovrà rispondere a requisiti che possono essere così riassunti:

1) Requisiti di carattere tecnico

Isolamento termico:	(vedi cap. 3.1).
Tenuta pneumatica:	(vedi cap. 3.3).
Perdite di carico:	(vedi cap. 3.4).
Acustica:	(vedi cap. 3.5).
Igiene e qualità dell'aria:	(vedi cap. 3.7).
Durata:	(vedi cap. 3.8).
Sicurezza:	(vedi cap. 3.6).

2) Requisiti di carattere esecutivo

Trasporto:	facilità di trasporto, problemi di logistica.
Costruzione:	velocità di esecuzione.
Installazione:	facilità di movimentazione, possibilità di modifiche in cantiere.
Reperibilità:	possibilità di trovare il materiale facilmente.

3) Requisiti di carattere economico

Facilità di preventivazione.
Costo contenuto.
Risparmio energetico.

Se attribuiamo alla rispondenza ad ogni requisito un valore su una scala da 1 a 5 (1 prestazione scarsa - 5 prestazione eccellente) possiamo tracciare un grafico che illustri in modo sintetico e comparabile le prestazioni delle diverse tipologie di un canale.

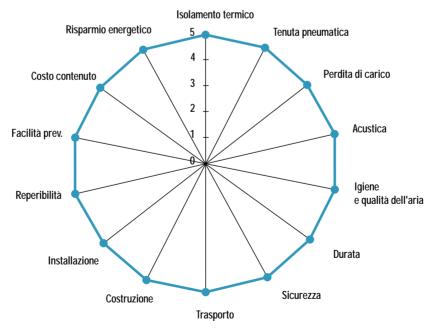
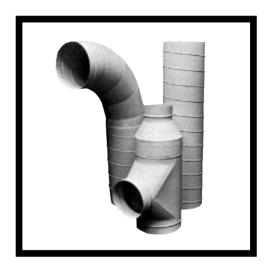



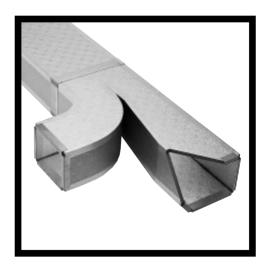
Fig. 1.2 - Grafico sulle prestazioni rilevate da un panel di esperti realizzato da P3

I canali disponibili sul mercato

2.1 Tipologie di canali

Sul mercato sono maggiormente diffuse le seguenti tipologie di canali:

rettangolari in lamiera zincata

spiroidali in lamiera zincata

circolari flessibili

preisolati in alluminio P3ductal

2

2.2 Confronti

Nelle tabelle vengono evidenziati i livelli qualitativi che si possono presentare per le diverse tipologie di canali, facendo riferimento alle più comuni situazioni d'impiego.

Rettangolari in lamiera zincata

Isolamento termico	2
Tenuta pneumatica	2
Perdita di carico	4
Acustica	3
Igiene e qualità dell'aria	2
Durata	3
Sicurezza	4
Trasporto	3
Costruzione	3
Installazione	2
Reperibilità	5
Facilità preventivazione	3
Costo contenuto	4
Risparmio energetico	3

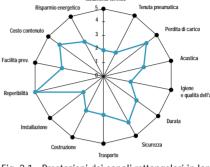



Fig. 2.1 - Prestazioni dei canali rettangolari in lamiera zincata

Spiroidali in lamiera zincata

Isolamento termico	3
Tenuta pneumatica	3
Perdita di carico	5
Acustica	3
Igiene e qualità dell'aria	3
Durata	3
Sicurezza	4
Trasporto	1
Costruzione	3
Installazione	3
Reperibilità	4
Facilità preventivazione	5
Costo contenuto	2
Risparmio energetico	3

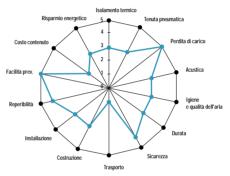



Fig. 2.2 - Prestazioni dei canali spiroidali in lamiera zincata

Circolari flessibili

Isolamento termico	3
Tenuta pneumatica	1
Perdita di carico	1
Acustica	3
Igiene e qualità dell'aria	1
Durata	2
Sicurezza	3
Trasporto	5
Costruzione	1
Installazione	4
Reperibilità	5
Facilità preventivazione	5
Costo contenuto	5
Risparmio energetico	2

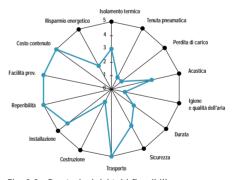
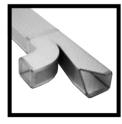



Fig. 2.3 - Prestazioni dei tubi flessibili

Preisolati in alluminio P3ductal

Isolamento termico	5
Tenuta pneumatica	5
Perdita di carico	4
Acustica	3
Igiene e qualità dell'aria	5
Durata	5
Sicurezza	4
Trasporto	5
Costruzione	4
Installazione	5
Reperibilità	5
Facilità preventivazione	5
Costo contenuto	4
Risparmio energetico	5

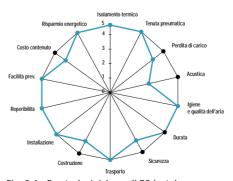



Fig. 2.4 - Prestazioni dei canali P3ductal

2

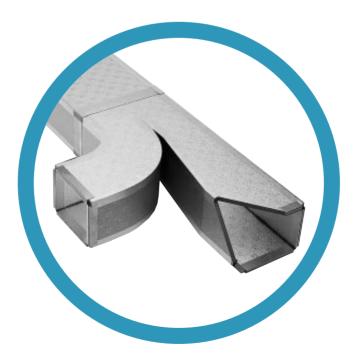
2.3 Caratteristiche dei canali P3ductal

Il sistema P3ductal è costituito da un insieme di procedure, di materiali e attrezzature (selezionati e rigorosamente controllati) per la costruzione ed installazione di canali in alluminio preisolati.

Tali canali sono destinati al trasporto dell'aria negli impianti di termoventilazione e condizionamento.

I canali P3ductal sono ricavati da pannelli sandwich in materiale espanso cellulare, ricoperti da una lamina in alluminio.

I canali P3ductal, che nascono da specifiche esigenze tecniche ed economiche, consentono di costruire impianti aeraulici, che garantiscono i più alti standard di sicurezza e numerosi vantaggi tra i quali:

- eccezionale isolamento termico, uniforme e continuo in tutti i punti delle condotte;
- nessun problema di rilascio di fibre o altri agenti inquinanti, grazie alla protezione dell'isolante con una lamina di alluminio che esclude qualsiasi fenomeno di erosione causato dal flusso dell'aria;
- possibilità di preparare i canali pretagliati che possono essere assemblati direttamente in cantiere, con rilevanti economie nelle spese di trasporto;
- riduzione delle perdite d'aria grazie all'eccezionale tenuta pneumatica garantita dal sistema di flangiatura invisibile brevettato P3;
- estrema leggerezza di peso con conseguente riduzione del carico sulle strutture portanti, dei punti di staffaggio, dei tempi di manodopera e dei materiali necessari all'installazione;
- possibilità di installare canali anche all'esterno;
- piacevole superficie di finitura esterna della lamina di alluminio che può essere verniciata con colori diversi ovvero rivestita con graffiato o altri rivestimenti murali.

3 Caratteristiche tecniche dei canali P3ductal

3.1 Isolamento termico

Per "potere isolante" di un materiale si intende la proprietà di ridurre la trasmissione del calore tra due ambienti aventi temperature diverse.

Il poliuretano espanso utilizzato nella produzione dei pannelli Piral è attualmente uno dei migliori materiali isolanti termici esistenti in commercio.

3.1.1 Conduttività termica

Il flusso termico Q, che si trasmette in regime stazionario tra le facce opposte parallele di uno strato piano di materiale omogeneo, può essere espresso mediante la seguente relazione:

$$Q = \frac{\lambda \, S \, (t_1 - t_2)}{s}$$

dove

Q = flusso termico [W];
S = superficie interessata dal flusso termico [m^2];
$t_1 - t_2$ = differenza di temperatura tra le facce [°C];
s = spessore del materiale [m];
λ = conduttività termica [W/(m°C)].

Pertanto la conduttività termica λ, numericamente, è data dal flusso termico che attraversa una superficie unitaria, per uno spessore unitario, quando la differenza di temperatura tra le due facce dello strato di materiale considerato è ancora unitaria.

3.1.2 Fattori che influenzano la conduttività termica

Nei materiali a struttura cellulare, gli scambi termici avvengono principalmente per conduzione attraverso le pareti solide delle celle, per irraggiamento tra le superfici che delimitano le celle stesse e per convezione all'interno delle medesime.
Nel caso del poliuretano altri fattori e caratteristiche, sia produttive che ambientali, possono influenzare significativamente la conduttività del materiale quali:

La densità. I pannelli della serie Piral vengono prodotti con densità comprese tra 40 e 65 Kg/m^3. In questo intervallo si riscontrano i valori di conduttività più bassi (vedi fig. 3.1). Per densità inferiori è difficile ottenere celle uniformi e chiuse; per densità superiori la maggiore incidenza della parte solida peggiora le prestazioni termiche.

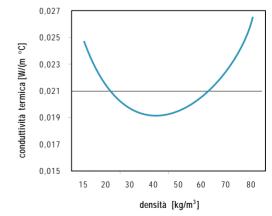



Fig. 3.1 - Conduttività termica in funzione della densità

La struttura cellulare. L'uniformità, il diametro delle celle e il loro orientamento hanno una grande influenza sul valore della conduttività termica. Le attuali tecnologie produttive permettono di ottenere schiume estremamente uniformi, ed un diametro inferiore ad 1 mm, che garantiscono i valori ottimali di conduttività termica.

La temperatura media di prova. La temperatura media di prova è un fattore determinante per il valore di conduttività termica.
In linea generale, nelle condizioni di esercizio dei pannelli Piral, all'aumentare della temperatura aumenta la conduttività (vedi fig. 3.2). Il valore λ espresso correttamente, deve sempre indicare, in pedice, la temperatura media di prova a cui è riferito. Le temperature medie di prova normalmente adottate dalle diverse mormative sono 10, 20, 24 e 40 °C.

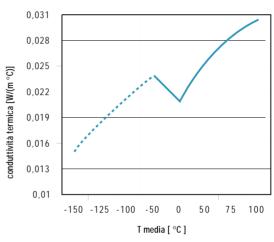



Fig. 3.2 - Conduttività in funzione della temperatura media di prova

L'invecchiamento. Nel caso dei prodotti in poliuretano rigido praticamente l'unico fattore rilevante per la variazione nel tempo delle prestazioni isolanti è il fenomeno della parziale diffusione verso l'esterno di alcuni componenti contenuti nelle celle e della contemporanea diffusione dell'aria ambiente verso l'interno delle celle.
Gli agenti espandenti che determinano la bassa conducibilità termica delle schiume permangono invece all'interno delle celle per un periodo di tempo ben superiore alla vita media dei prodotti.

È evidente che lo scambio tra le celle della schiuma e l'ambiente esterno non può avvenire se il poliuretano è protetto da rivestimenti impermeabili alla diffusione, quali, ad esempio, i rivestimenti in alluminio che contraddistinguono i pannelli Piral.

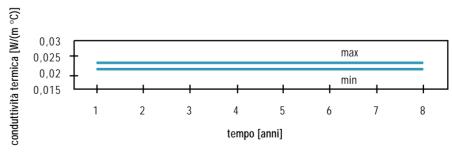



Fig. 3.3 - Conduttività termica in funzione del tempo

3

3.1.3 Confronto tra diversi tipi di materiali coibenti

Tipo	Conduttività termica (a10 °C) λ [W/(m°C)]
Polietilene estruso reticolato	0,033 - 0,035
Lana di vetro	0,038 - 0,040
Pannelli P3ductal (serie Piral)	0,022 - 0,026 *

* N.B. Per i diversi tipi di pannelli si rimanda alle relative schede tecniche.

Tabella 3.1

3.2 Condensazione di vapor d'acqua sui canali

Il problema della condensazione del vapore d'acqua è strettamente collegato alla temperatura della superficie esterna del canale e quindi dipende, oltre che dall'umidità relativa dell'aria dell'ambiente, anche dal grado di isolamento che la parete stessa offre.

Come visto in precedenza, i pannelli P3ductal presentano un notevole potere isolante, pertanto perchè il vapore possa condensare sulla parete esterna del canale la temperatura superficiale esterna t_s deve essere equivalente o inferiore alla temperatura di rugiada t_r.
La temperatura di rugiada è definita come quella temperatura alla quale l'aria raggiunge le condizioni di saturazione $t=t_r$ attraverso un processo di raffreddamento a pressione e umidità specifica costanti. Ogni successivo raffreddamento comporta la formazione di condensa, per questo motivo ogni superficie che si trovi a temperatura inferiore a t_r risulta bagnata. In genere, la condensazione non è così rilevante da produrre un gocciolamento a meno che la temperatura superficiale del canale non sia di oltre 2 °C al di sotto del punto di rugiada dell'aria ambiente.
È possibile ricavare la temperatura di rugiada dal diagramma psicrometrico conoscendo l'umidità relativa UR % (vedi esempio).
La temperatura superficiale esterna della parete piana del canale può venire determinata mediante la seguente formula:

$$t_s = t_a - \frac{U}{\alpha_e}(t_a - t_i)$$

e

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} \ldots \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

Fig. 3.4 - Condizioni di condensa

dove:
t_s = temperatura della superficie esterna del canale [°C];
t_a = temperatura dell'aria esterna al canale (aria ambiente) [°C];
t_i = temperatura dell'aria interna al canale [°C];
U = trasmittanza della parete del canale [W/(m² °C)];
α_e = adduttanza termica superficiale esterna [W/(m² °C)];
s = spessore [m];
λ =conduttività termica [W/(m °C)];
α_i = adduttanza termica superficiale interna [W/(m² °C)].

Oltre che sulla parete esterna del canale, la condensazione potrebbe avvenire anche all'interno del pannello stesso; le lamine di alluminio, che contraddistinguono i panelli P3ductal, sono dotate di una resistenza al passaggio del vapore μr infinita. Grazie alla barriera vapore dell'alluminio, nei canali P3ductal il fenomeno non si può verificare.

Esempio di verifica delle condizioni di condensa

Supponiamo di dover costruire un canale che attraversi una zona non condizionata.
È necessario quindi verificare la possibilità di formazione di condensa sulle pareti del canale e sulle relative flangiature.

Le condizioni di progetto sono:
t_a = 40 °C
UR = 50%
t_i = 14 °C
v = 8 m/s (velocita interna dell'aria)
s = 0,02 m

Con aria calma si può assumere un valore di adduttanza termica esterna pari a:
α_e= 8,14 W/(m² °C);
con velocità interna dell'aria v ≥ 4m/s l'adduttanza termica interna vale
$\alpha_i = 2,33 + 10,47 \sqrt{v}$
pertanto considerando v = 8 m/s otteniamo:
α_i = 31,94 W/(m² °C).
Mediante le formule riportate per la trasmittanza e la temperatura superficiale esterna del canale si può facilmente risalire ai valori riportati nella tabella 3.2:

Descriz.	s [m]	λ [W/(m °C)]	U [W/(m² °C)]	t_s [°C]
Pannello PIRAL	0,02	0,022	0,94	37
Flangia in PVC	0,02	0,160	3,58	28,6
Flangia in alluminio	0,02	221,23	6,49	19,3

Tabella 3.2

Mediante il diagramma psicometrico riportato in fig. 3.5, in funzione di t_a e di *UR* ricaviamo t_r = 27,5 °C.

Analizzando le temperature superficiali t_s riportate in tabella 3.2 per i vari componenti, si riscontra che solo la flangia in alluminio con 19,3 °C presenta una temperatura inferiore alla temperatura di rugiada t_r. Su tale flangia si formerà condensa, pertanto in tal caso è consigliabile utilizzare le flange in PVC o in alternativa coibentare la flangiatura con l'apposito nastro in polietilene da 8 mm, ottenendo il risultato riportato nella tabella 3.3.

Descriz.	$S_{tot.}$ [m]	λ [W/(m °C)]	U [W/(m² °C)]	t_s [°C]
Flangia all. + polietilene	0,028	0,038	2,74	31,2

Tabella 3.3

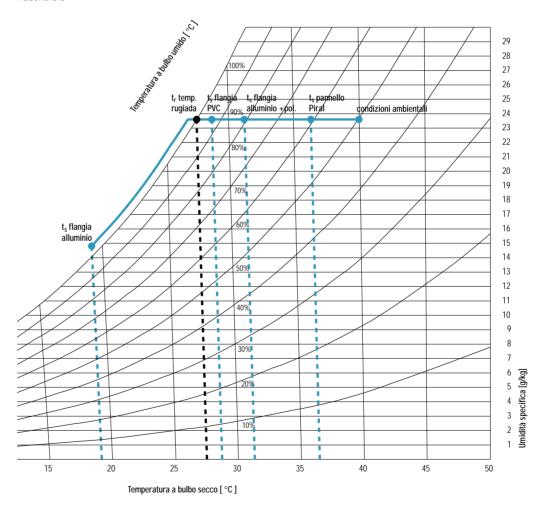



Fig. 3.5 - Diagramma psicrometrico

3.3 Tenuta pneumatica

A torto trascurate, le fughe d'aria dai canali non solo possono appesantire sensibilmente la bolletta energetica, ma penalizzano la stessa diffusione nei vari ambienti e, nei casi limite, comportano un ingiustificato sovradimensionamento degli impianti.

Le perdite d'aria in una rete aeraulica si possono intendere come la differenza tra il volume d'aria erogato (ovvero aspirato) dal ventilatore e quello effettivamente immesso (ovvero estratto) all'ambiente servito.

Da una serie di prove eseguite con il massimo rigore scientifico si è rilevato che le perdite possono raggiungere valori compresi tra il 10 ed il 30% del quantitativo dell'aria trasportato per i canali di mandata e valori tra il 20 ed il 40% su quelli di ripresa (riferimento bibliografico n. 9).

Le perdite d'aria in un sistema di canalizzazioni tradizionali si localizzano soprattutto lungo le aggraffature longitudinali e nelle giunture trasversali (unione tra condotto e condotto).

I canali possono essere sistemati tanto all'interno, quanto all'esterno degli ambienti condizionati (o separati da una controsoffittatura) e le perdite pertanto possono verificarsi sia all'interno, sia all'esterno degli ambienti stessi:

- quelle che si verificano all'interno, creano squilibri sui quantitativi d'aria immessi nei vari locali e possono alterare le condizioni termoigrometriche di progetto, ma non incidono generalmente sulle prestazioni e sui costi di esercizio dell'impianto;
- le fughe all'esterno degli ambienti condizionati penalizzano notevolmente l'efficienza dell'impianto e richiedono l'impiego di apparecchiature di maggiori potenzialità, i costi d'acquisto e d'esercizio diventano naturalmente maggiori.

3.3.1 Cosa prevede la normativa

A livello europeo il CEN (Comitato Europeo di Normazione) nella bozza di norma prEN 1507 definisce le classi di tenuta per le fughe d'aria negli impianti aeraulici, così come riportato nella tabella 3.4.
Vengono definite le tre classi di tenuta ed i relativi limiti imposti alle perdite d'aria, basando i valori sul presupposto che la perdita sia proporzionale alla superficie del condotto ed alla pressione totale p (media nel condotto) elevata alla potenza di 0,65 essendo:

$$p = p_s + p_d \text{ [Pa]}$$

dove:
p_s = pressione statica [Pa]
p_d = pressione dinamica [Pa]

definita come $p_d = \rho \frac{v^2}{2}$

dove:
ρ = densità dell'aria [kg/m³] (per condizioni standard ρ = 1,24 kg/m³)
v = velocità dell'aria [m/s].

Classe di tenuta dell'aria	Perdita d'aria ammessa L/s per m² di sup. di canale
Bassa Pressione: Classe A	$0{,}027 \times p^{0{,}65}$
Media Pressione: Classe B	$0{,}009 \times p^{0{,}65}$
Alta Pressione: Classe C	$0{,}003 \times p^{0{,}65}$

Tabella 3.4

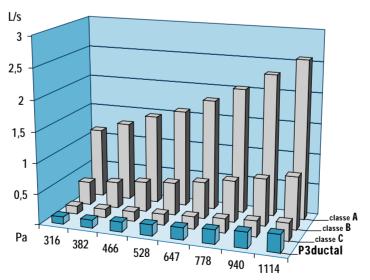



Fig. 3.6 - Confronto tra la perdita d'aria dei canali P3ductal e la perdita ammessa dalla norma

I canali P3ductal, avvalendosi dell'esclusivo sistema di flangiatura brevettato, garantiscono una eccezionale tenuta d'aria eliminando di fatto la possibilità di perdite longitudinali e limitandone quelle nelle giunzioni trasversali, soddisfando le richieste della migliore classe di tenuta (C) prevista dalla norma, come evidenziato nella fig. 3.6.

3.3.2 Infiltrazioni nei canali di ripresa

Attraverso i canali di ripresa si verificano delle infiltrazioni (talvolta chiamate “rientrate”) percentualmente maggiori di quelle che si hanno sulla mandata. Con canali di ripresa sistemati all’esterno degli ambienti condizionati, all’unità di trattamento torna un quantitativo d’aria ambiente, nel caso di ricircolo d’aria o in presenza di recuperatori di calore, compreso tra il 60 e l’80% di quello che progettualmente dovrebbe tornarvi. Il resto è costituito da aria degli ambienti non condizionati che il canale attraversa, la quale avrà condizioni termoigrometriche diverse da quella ambiente e sarà cioè più fredda d’inverno e più calda d’estate, provocando un aumento del carico termico dell’ambiente, con conseguente impiego di un impianto di maggior potenza. Tale dato potrebbe sembrare anomalo, dato che i canali di ripresa hanno abitualmente percorsi più brevi, un minor numero di giunti e spesso superfici ridotte, ma una spiegazione può venire dalla minor cura ad essi dedicata durante la costruzione e posa in opera, perchè inconsciamente ritenuti non destinati a trasportare aria “condizionata”.

3.4 Perdite di carico

La conoscenza dell'entità delle perdite di carico è fondamentale per chi deve progettare apparecchiature o reti con fluido in movimento, in quanto si tratta di energia che viene irreversibilmente degradata all'interno del sistema.
I due possibili tipi di perdita sono le PERDITE DI CARICO LINEARI O UNIFORMEMENTE DISTRIBUITE e le PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE O ACCIDENTALI.

3.4.1 Perdite di carico lineari o uniformemente distribuite

Le perdite di carico lineari di un fluido, che scorre all'interno di un condotto, sono dovute sia agli attriti generati dalla viscosità del fluido (moto laminare) sia dal movimento delle particelle nel moto turbolento.
Il calcolo delle perdite di carico lineari può essere effettuato mediante l'equazione di Darcy:

$$\Delta p_{fr} = f\left(\frac{L}{D_h}\right) p_d$$

dove:
Δp_{fr} = perdita di carico per attrito [Pa]
f = coefficiente di attrito, adimensionale
L = lunghezza del canale [m]
D_h = diametro idraulico [m]
p_d = pressione dinamica [Pa]

Il diametro idraulico di un canale di forma non circolare si può definire mediante la seguente relazione:

$$D_h = \frac{4A}{p}$$

dove:

A area della sezione trasversale al flusso [m^2]

p perimetro della sezione trasversale (perimetro bagnato) [m]

Il coefficiente di attriro "*f*" può essere ricavato, in funzione del numero di Reynolds e della scabrezza relativa, con la formula di Colebrook e White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7\, D_h} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Una formula semplificata per il calcolo del coefficiente di attrito "*f*" è la seguente:

$$f_1 = 0,11 \left(\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

nel caso in cui $f_1 > 0,018$ allora $f = f_1$

nel caso in cui $f_1 < 0,018$ allora $f = 0,85 f_1 + 0,0028$

nelle formule sono indicate con:

Re = numero di Reynolds, adimensionale

ε = fattore di rugosità assoluta del materiale [mm] (vedi tabella 3.5).

Il numero di Reynolds può essere calcolato con la formula:

$$Re = D_h \frac{v}{\upsilon}$$

dove:

υ = viscosità cinematica [m^2/s]

D_h =diametro idraulico, [m]

v = velocità [m/s].

Per l'aria, in condizioni standard, il numero di Reynolds si può calcolare con la seguente

$Re = 66400\, D_h\, v$

Materiale	ε [mm]
Acciaio al carbonio non rivestito, pulito Tubazione PVC Alluminio	0,03
Acciaio zincato, agraffatura longitudinale, flangiatura ogni 1200 mm Acciaio zincato, agraffatura a spirale con 1, 2 o 3 coste, flangiatura ogni 3600 mm	0,09
Canali in alluminio preisolati P3ductal	0,12
Acciaio zincato, agraffatura longitudinale, flangiatura ogni 750 mm	0,15
Canali in fibra di vetro, rigidi	0,9
Canali con rivestimento interno in fibra di vetro Tubo flessibile metallico (quando esteso completamente) Tubo flessibile (tutti i tipi) Calcestruzzo	3,0

Tabella 3.5

3.4.2 Perdite di carico localizzate o accidentali

Quando nelle condotte esistono dei tratti in cui il flusso cambia direzione, oppure si manifestano delle variazioni di sezione, riunioni o separazioni di correnti, ecc., si hanno delle perdite di carico accidentali che vanno sommate a quelle uniformemente distribuite.

Grande importanza assume la forma del tronco di un condotto, mentre risulta modesta l'influenza del numero di Reynolds perchè, in una accidentalità, il moto è sempre altamente turbolento e solo nel caso che *Re* risulti inferiore a 150.000, si provvede ad introdurre un coefficiente correttivo.
Si esamini, ad esempio, il comportamento di un fluido in corrispondenza di una curva: il profilo di velocità delle particelle, per effetto del cambiamento di direzione, tende a modificarsi come indicato in figura 3.7. L'effetto, che si ottiene, può essere assimilato ad un restringimento di sezione e di conseguenza la perdita di carico è superiore di una quantità "Δp_1" rispetto a quella che si avrebbe con un tratto rettilineo di lunghezza "L" pari a quello dell'asse della curva.
Immediatamente dopo la curva, i filetti fluidi tendono ad assumere la distribuzione caratteristica dei tratti rettilinei e di conseguenza si verificano di nuovo degli urti di masse veloci con altre più lente, che introducono una nuova perdita di pressione "Δp_2".
In caso di due pezzi speciali molto vicini tra loro (meno di 6 volte il diametro idraulico), le caratteristiche del flusso, utilizzate come riferimento per il primo pezzo, non sono valide per il secondo pezzo. Dati attendibili per questi casi non sono disponibili.

Nelle sezioni trasversali possono insorgere dei vortici, a causa della forza centrifuga che tende a spostare le particelle della zona centrale verso le superfici laterali e di conseguenza ne nasce una ulteriore perdita di carico "Δp_3".
Va inoltre osservato che l'esistenza di forze, la cui azione è contrastata dalla presenza di altre particelle, determinano, nel piano di una sezione trasversale della curva, una distribuzione del vettore velocità completamente diversa da quella che si ha in un tratto rettilineo del canale in zona non disturbata.
Concludendo, fra due sezioni estreme di una curva, le perdite di carico possono essere espresse dalla relazione:

$$\Delta p_t = \Delta p_{fr} + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$$

Normalmente le perdite di carico accidentali (o concentrate) non possono essere ricavate teoricamente, facendo ricorso alle equazioni fondamentali della fluidodinamica,ma è necessario ricorrere a prove sperimentali.

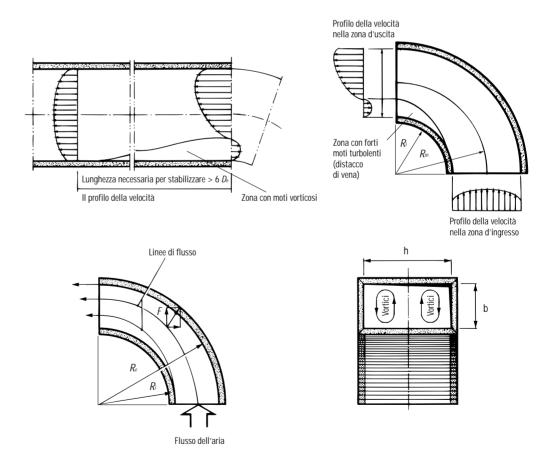



Fig. 3.7 - Fenomeni inerenti alle perdite di carico localizzate

Un metodo veloce per determinare le perdite localizzate negli impianti di condizionamento e termoventilazione, è quello della "lunghezza equivalente". Come dice il nome, esso fa corrispondere ad ogni curva, diramazione o altro pezzo speciale, che comporti una variazione di direzione o di grandezza della velocità dell'aria, una lunghezza equivalente espressa in metri lineari che, se moltiplicata per la caduta di pressione per metro lineare propria del canale, fornisce il valore della perdita localizzata che si verifica nel pezzo speciale.

La figura seguente, riporta i valori di lunghezza equivalente in metri lineari, relativi ai componenti di un impianto aeraulico che comportano delle perdite di carico localizzate.

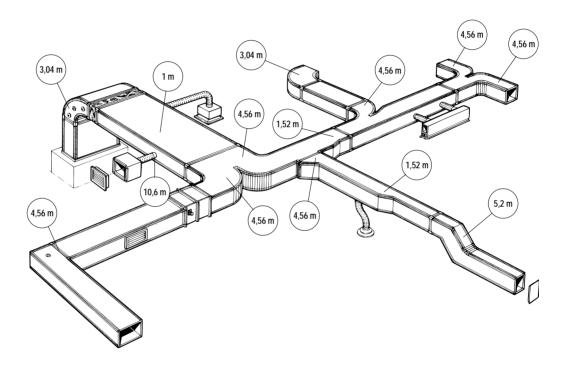



Fig. 3.8 - Lunghezze equivalenti relative alle accidentalità presenti in un impianto aeraulico

3.5 Il rumore nei canali

Molte indagini sul comfort negli uffici indicano che l'eccessivo livello sonoro del sistema di climatizzazione è responsabile della maggior parte dei reclami più di ogni altro aspetto ambientale, se si esclude quello relativo alla temperatura. Le cause della eccessiva rumorosità possono essere sia il progetto iniziale non corretto, sia una seguente revisione del progetto, al fine di ridurne il costo senza tener conto dell'aspetto del rumore, sia una installazione inadeguata. Per minimizzare la possibilità che le scelte di progetto possano causare problemi di rumore e vibrazioni, i progettisti devono considerare l'aspetto acustico in ogni fase del progetto: nella progettazione di base, nel progetto di dettaglio, nell'esecuzione.

Ancora troppo spesso l'area di influenza della progettazione acustica si limita all'aggiunta dei silenziatori a canale, al rivestimento acustico delle condotte e alla definizione dei supporti antivibranti; si situa alla fine della fase di designazione costruttiva, dopo che il progettista ha praticamente completato il progetto del sistema. Questi trattamenti acustici, aggiunti all'ultimo momento, possono controllare il rumore e le vibrazioni, ma se non sono ben integrati nel complesso, possono ridurne le prestazioni, inoltre, se non sono ben installati, possono addirittura causare, a loro volta, problemi di rumore e vibrazioni. Di conseguenza, la definizione dei mezzi per il controllo del rumore dovrebbe iniziare durante le fasi di progettazione di base e di dettaglio, e continuare per tutte le fasi del progetto.

Quanto più il controllo di rumore e vibrazioni viene previsto prima, tanto meno occorre intervenire dopo.

Il momento fondamentale della fase di progettazione è costituito dal completamento del progetto strutturale. Ritardare l'analisi acustica fin a dopo che il progetto strutturale sia sostanzialmente completato, lascia poca libertà ai progettisti per definire e posizionare quei sistemi e quei materiali acustici che siano effettivamente convenienti ed efficaci. Quando si cerca di risolvere un problema di rumore in un impianto di climatizzazione, spesso si scopre che la posizione di setti strutturali, di travi, di colonne o di controventi è tale da rendere la soluzione ottimale o molta costosa o, addirittura, impossibile.
Se le decisioni relative al progetto acustico vengono fatte in cooperazione con il progettista strutturale, si possono evitare problemi di questo tipo e si riesce a rendere minimo il costo dei materiali destinati a contenere la rumorosità.
La corretta progettazione acustica richiede una vasta cooperazione fra architetti, progettisti strutturali, meccanici, elettrici, ed esperti in acustica.
Per ottenere questo risultato, il gruppo di progettazione deve iniziare a lavorare insieme già nelle fasi di:

1) scelta del tipo di impianto;
2) selezione preliminare delle macchine;
3) dimensionamento degli spazi tecnici;
4) pianificazione degli spazi tecnici.

I problemi riguardanti l'attenuazione del rumore negli impianti di climatizzazione possono essere schematizzati nel diagramma di flusso semplificato nella figura 3.9.
Da esso si rileva che esistono le seguenti due possibiltà:

1. Ridurre l'intensità di emissione della sorgente.
2. Ostacolare l'energia sonora lungo il suo percorso di propagazione.

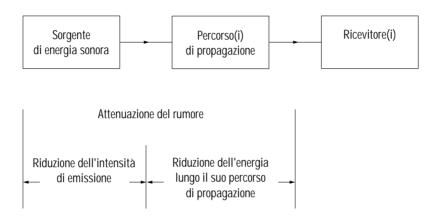



Fig. 3.9 - Diagramma del flusso dell'energia sonora

3.5.1 Come si propaga il rumore in un impianto di ventilazione

Il diagramma di flusso d'energia acustica in un impianto di ventilazione può essere schematizzato come in fig. 3.10.

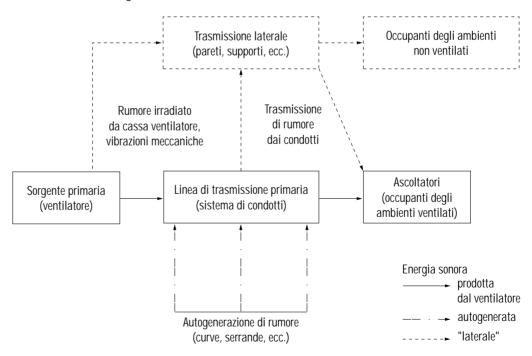



Fig. 3.10 - Trasmissione del rumore in un impianto di ventilazione

Premesso che i ventilatori rappresentano la principale sorgente di rumore in un impianto aeraulico, i sistemi di canalizzazione dell'aria devono essere progettati, dal punto di vista acustico, con l'obiettivo di non permettere che si generi o si trasmetta rumore eccessivo lungo il tracciato.

Possiamo dire che le proprietà acustiche di una canalizzazione sono identificate dai seguenti parametri:

1) Attenuazione acustica (lungo il percorso).
2) Resistenza alla trasmissione di rumore ("break in" e "break out").
3) Autogenerazione di rumore.

3.5.2 Attenuazione acustica lungo il percorso

a) Attenuazione nei tratti rettilinei dei condotti

Può risultare a prima vista sorprendente che il suono possa essere attenuato durante il passaggio lungo un canale di sezione costante. La ragione per cui si ha una certa attenuazione è che le pareti del condotto non sono perfettamente rigide. L'azione della pressione sonora fluttuante all'interno del condotto è di mettere in vibrazione le sue pareti.
Per questa ragione le condotte più rigide, quali quelle metalliche circolari, presentano delle attenuazioni acustiche molto basse.
Dell'energia sonora, che viene persa dall'aria all'interno del canale, una parte sarà re-irradiata sotto forma di rumore aereo all'esterno del canale stesso, e ciò può causare problemi negli ambienti da esso percorsi, come si vedrà in seguito ("break out").

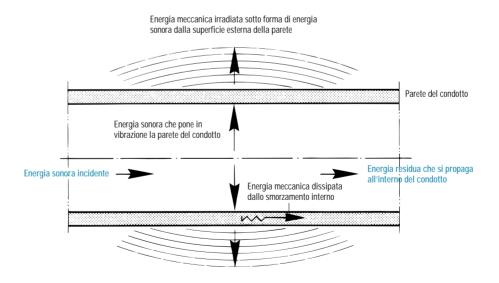



Fig. 3.11 - Processo di attenuazione acustica per un canale a sezione costante

I valori prevedibili di attenuazione in [dB/m] per banda d'ottava alle diverse frequenze, per i tratti rettilinei di canali preisolati in alluminio a sezione rettangolare, sono riportati nelle specifiche dei prodotti P3.

b) Attenuazione nei tratti curvi dei canali

L'attenuazione conseguita nelle curve dei condotti, a differenza di quella che si verifica per effetto di assorbimento nei condotti rettilinei, è dovuta alla riflessione in direzione della sorgente.
Come criterio generale, si può dire che più bassa è la resistenza aerodinamica della curva, minore risulterà l'attenuazione dell'energia da essa fornita.

Le tabelle seguenti permettono di valutare le attenuazioni (in dB) conseguibili nei diversi tipi di curve.

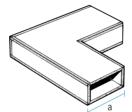
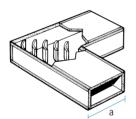
Fig. 3.12
Curva a spigoli vivi

	Frequenza [Hz]							
a [m]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,15 - 0,30	0	0	1	4	6	6	4	3
0,30 - 0,60	0	0	4	6	6	4	3	3
0,60 - 1,2	1	3	7	6	4	3	3	3

Tabella 3.6

Fig. 3.13
Curva a gomito con alette deflettrici

	Frequenza [Hz]							
a [m]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,15 - 0,30	0	0	0	2	3	4	3	3
0,30 - 0,60	0	0	2	3	4	3	3	3
0,60 - 1,2	0	1	4	4	3	3	3	3

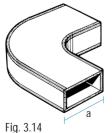



Tabella 3.7

Fig. 3.14
Curva a raccordo circolare

	Frequenza [Hz]							
a [m]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,15 - 0,30	0	0	0	0	1	2	3	3
0,30 - 0,60	0	0	0	1	2	3	3	3
0,60 - 1,2	0	0	1	2	3	3	3	3

Tabella 3.8

c) Stacchi e diramazioni nelle canalizzazioni

In realtà non esiste una vera e propria perdita di energia dovuta alle diramazioni.
Si può dire piuttosto, che l'energia proveniente dal condotto principale si suddivide nei condotti secondari nello stesso modo in cui si suddivide il flusso d'aria.
In termini di livello di potenza sonora, l'attenuazione relativa al percorso lungo il condotto derivato può essere calcolata con la relazione:

$$\Delta L_w = 10\log\left(\frac{m_1}{m_2}\right) \quad [dB]$$

dove:
m_1 : portata d'aria nel condotto principale a monte della diramazione, [m³/s];
m_2 : portata d'aria nel condotto derivato, [m³/s].

Nella tabella 3.9 sono riportate le attenuazioni in dB, in corrispondenza alle diramazioni nei canali.

m_2/m_1	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8
ΔL_w [dB]	20	17	14	12	11	10	7	4	3	2	1

Tabella 3.9

d) Filtri attenuatori acustici

Quando l'attenuazione della potenza sonora ottenuta naturalmente nei circuiti di mandata e ripresa dell'aria non è sufficiente a garantire i livelli di rumorosità ambientale richiesti, si può ricorrere all'impiego di filtri attenuatori acustici o silenziatori.
I silenziatori sono usualmente costituiti da un tratto di condotto (rettilineo od anche a curva ad angolo retto vivo) nel quale opportuni inserti fonoassorbenti (per lo più a forma di setti) permettono di conseguire elevati parametri di attenuazione.

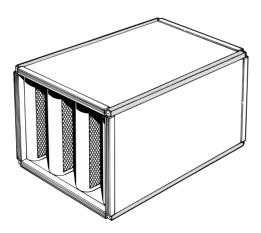



Fig. 3.15 - Filtro attenuatore acustico

L’attenuazione prodotta da un silenziatore dipende da vari fattori:

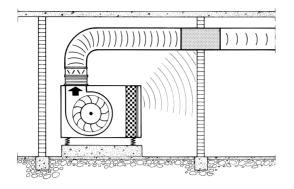
- tipo di setti impiegati: sono disponibili in commercio vari tipi di setti fonoassorbenti, in lana minerale con rivestimento in lana di vetro ad alto coefficiente di assorbimento acustico, quelli realizzati come i setti standard ma con un rivestimento aggiuntivo in alluminio su metà superficie, in relazione alle diverse frequenze per le quali si richiede un maggior assorbimento acustico.
- serie costruttiva: lo spessore dei setti e la relativa strettezza dei passaggi dell’aria sono determinanti nel generare attenuazione.
- lunghezza: più lungo è il silenziatore, maggiore è l’attenuazione prodotta.

Riassumendo:

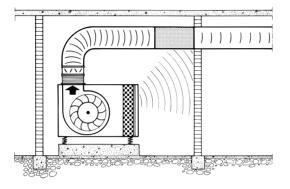
Per aumentare l’attenuazione:	1) ridurre il passaggio dell’aria; 2) aumentare la lunghezza.
Per diminuire la perdita di carico:	1) aumentare l’altezza; 2) aumentare la larghezza (aumentando il n. di moduli).

N.B. Con il termine “modulo” si intende, per un silenziatore, un passaggio d’aria più lo spessore del setto ad esso relativo.
Per ridurre al minimo le perdite di carico, sarà spesso necessario usare silenziatori a setti di dimensioni maggiori di quelle del condotto sul quale devono essere installati, per cui si dovranno adottare opportuni raccordi con estremità a profilo aerodinamico.
I vari modelli di silenziatori si differenziano per le dimensioni e quindi per le portate d’aria, in relazione alla perdita di carico e alla velocità dell’aria. Note dunque, la portata d’aria e la velocità massima dell’aria (o la perdita di carico), si risale mediante l’ausilio di diagrammi forniti dalle case costruttrici, al coefficiente di portata che deve avere il silenziatore.
Infine, nelle tabelle dei dati aeraulici si individua il modello di silenziatore con il coefficiente di portata uguale o poco superiore a quello voluto, tra quelli che permettano di fornire l’attenuazione richiesta. In caso di più modelli in alternativa, si sceglierà quello con le dimensioni più convenienti.

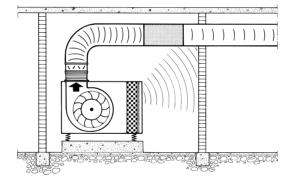
Dove installare i silenziatori

L’esatta collocazione dei silenziatori dipende dalla natura delle macchine presenti e dalla loro vicinanza alle aree critiche. Quando il livello di rumore in centrale è elevato, è consigliabile collocare il silenziatore nel tratto di condotto che precede immediatamente la sua uscita dal locale; in tal modo, ogni rumore di centrale che entra nel condotto anche attraverso le sue pareti, sarà attenuato dal silenziatore prima che possa raggiungere i terminale d’impianto negli ambienti, com’è indicato nella figura 3.16. Posizionare i silenziatori troppo vicino ai ventilatori o ad altri componenti può essere causa di eccessiva turbolenza con conseguente eccessiva perdita di carico ed eccessivo rumore autogenerato.

In corrispondenza del muro

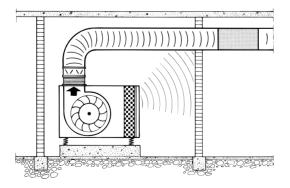
Soluzione migliore

Si riduce il rumore nella condotta ed il rumore che, dal locale tecnico, potrebbe entrare nella condotta.

Subito prima del muro

Molto buona

È l'alternativa più pratica quando viene richiesta una serranda tagliafuoco sulla parete.

Dentro il locale tecnico

Accettabile

In questo caso una certa quantità di rumore prodotta dal locale tecnico entra nella condotta senza l'attenuazione del silenziatore.

All'esterno del locale tecnico

Scadente

Il rumore interno alla condotta fuoriesce nella zona occupata prima di essere attenuato dal silenziatore.

Fig. 3.16 - Posizionamento del silenziatore in prossimità della parete divisoria di un locale macchine

3.5.3 Resistenza alla trasmissione di rumore (“break in” e “break out”).

I canali di distribuzione dell’aria possono diventare delle sorgenti effettive di rumore, di fatto in funzione delle proprietà fonoisolanti dei materiali che costituiscono il canale, una parte della potenza sonora immessa nel canale è irradiata verso l’esterno attraverso le pareti del canale stesso. Il rumore proveniente dall’interno dei canali e trasmesso all’esterno attraverso le sue pareti viene denominato rumore di “break out”. Gli stessi canali possono attraversare ambienti in cui sono ubicate macchine ed impianti rumorosi. In tal caso parte della potenza sonora dell’ambiente è trasmessa nel canale e si propaga lungo lo stesso. Questo fenomeno è conosciuto come rumore di “break in”.

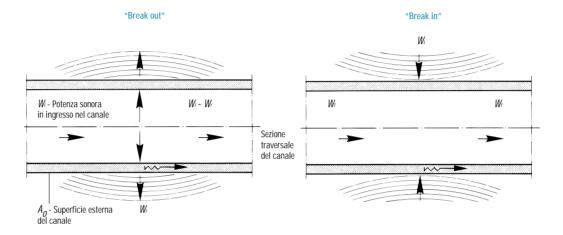



Fig. 3.17 - “Break in” e “break out”

Il livello di potenza sonora totale L_{WB} che attraverso le pareti dei canali rettangolari, viene introdotto nell’ambiente d’ascolto, è dato approssimativamente da:

$$L_{WB} = L_{WD} - R - 10\log(S_p/S_D) \text{ [dB]}$$

dove:
L_{WB} = livello di potenza sonora introdotta in ambiente [dB]
L_{WD} = livello medio di potenza sonora all’interno del condotto per il tratto contenuto nell’ambiente d’ascolto [dB]
R = potere fonoisolante delle pareti del condotto [dB] (dati sono disponibili presso la P3)
S_p = superfice totale delle pareti del canale irradianti nell’ambiente d’ascolto [m^2]
S_D = sezione del canale [m^2].

Appare immediatamente evidente che quando il termine 10log (S_P/S_D) è uguale o superiore al valore del potere fonoisolante, l'equazione considerata indica che l'intero livello di potenza sonora L_{WD} sfugge all'esterno o addirittura che sfugge più energia sonora di quella presente originariamene all'interno del condotto. In queste condizioni è ovvio che le ipotesi che conducono a questa particolare equazione non sono più valide, e l'equazione stessa non può essere applicata. Come situazione limite si considera quella per cui metà della potenza sonora sfugge dal condotto e la metà rimanente prosegue lungo l'impianto.

Il valore del livello di potenza sonora calcolato L_{WB} può essere usato nella previsione di pressione sonora L_p in qualsiasi ambiente d'ascolto utilizzando la seguente formula:

$$L_p = L_{WB} + 10\log(Q / 4 \pi r^2 + 4 / R_c) \text{ [dB]}$$

dove:
r : distanza dalla sorgente sonora [m]
Q : fattore di direttività, adimensionale
R_c : costante d'ambiente [m^2]

essendo $R_c = \dfrac{\overline{\alpha}\, S_a}{1-\overline{\alpha}}$

con:
$\overline{\alpha}$: coefficiente di assorbimento medio nell'ambiente
S_a: superficie totale interna dell'ambiente.

Si noti che S_p è comprensiva di tutte le superfici irradianti nell'ambiente, anche se il canale è più o meno vicino alle pareti dell'ambiente stesso. Gli effetti di riflessione dovranno essere presi in considerazione attribuendo un valore appropriato al fattore di direttività.

$Q = 2$ se il condotto è installato al centro del soffitto
$Q = 4$ se il condotto è installato in prossimità di uno spigolo fra soffitto e parete.

Spesso la canalizzazione anzichè attraversare un ambiente "in vista", è disposta in un opportuno spazio di controsoffitto: per valutare il livello di potenza sonora effettivamete immesso in un ambiente, bisognerà detrarre dal livello di potenza sonora irradiato dal canale la cosidetta "perdita d'inserzione" del controsoffitto.

3.5.4 Autogenerazione di rumore

I fattori che determinano l'autogenerazione del rumore sono tutti i corpi solidi esposti al movimento dell'aria e quindi in grado di generare turbolenze più o meno accentuate.
L'azione del flusso di turbolenza su una superficie solida è quella di provocare nelle sue immediate vicinanze rapide fluttuazioni di pressione; se tali fluttuazioni di pressione sono abbastanza forti, possono generare un livello di rumore non trascurabile. Negli impianti di ventilazione ciò accade spesso, in particolare nei sistemi ad elevata velocità.

É opportuno raggruppare i vari elementi generatori di rumore in due categorie.

1) Elementi che producono energia sonora “autogenerata” nel condotto:

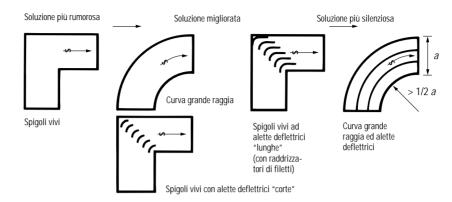
- percorsi del condotto
- curve
- diramazioni
- strozzature
- serrande
- accessori (batterie di riscaldamento, cassette di miscelazione, ecc.).

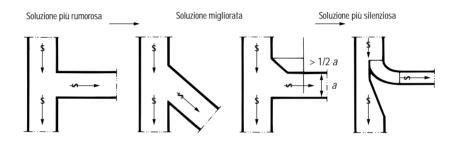
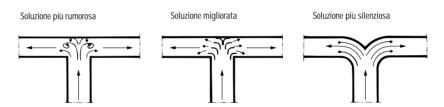
2) Unità terminali irradianti energia sonora secondaria direttamente nell’ambiente:

- bocchette (con o senza serrande incorporate)
- diffusori
- cassette a induzione
- altre unità terminali.

Il parametro più importante che interviene sulla quantità di rumore generato da un elemento di condotto risulta essere pertanto la velocità dell’aria che lo attraversa.
La prima domanda da porsi è pertanto se la velocità possa essere ridotta.
La pressione sonora prodotta è legata da una relazione alla sesta potenza della velocità, ciò pone in evidenza che una riduzione anche soltanto del 12% in velocità può dare un’attenuazione del rumore di 4 dB.
Vi sarà comunque un limite sotto il quale la velocità non può essere ridotta. Se il rumore secondario (laterale e autogenerato) è ancora troppo elevato, si dovranno prendere in considerazione altri mezzi d’attenuazione. La soluzione più ovvia è l’impiego di silenziatori dissipativi descritti in precedenza. È pratica comune, particolarmente in impianti ad alta velocità, collocare il silenziatore principale nel locale macchine, e i cosiddetti silenziatori secondari in uno o più condotti terminali, a seconda delle esigenze. Affinchè i provvedimenti siano efficaci, è importante che tutte le sorgenti di rumore secondario siano collocate ad una distanza dall’unità terminale tale da consentire l’installazione del silenziatore. Ciò vale soprattutto per le serrande impiegate per dosare la quantità d’aria che passa attraverso bocchette e diffusori (serrande di taratura).
Il rumore prodotto da questi terminali non è virtualmente controllabile, trattandosi di sorgenti che irradiano direttamente nello spazio occupato; lo stesso si può dire per i mobiletti a induzione installati nell’ambiente. L’unica possibilità del progettista dell’impianto è la scelta degli elementi più silenziosi disponibili.
È molto importante quindi verificare che i dati forniti dal costruttore siano reali dati sperimentali, ottenuti per determinate condizioni di carico. In casi estremi le unità terminali possono essere sovradimensionate.

Di seguito sono riportate le soluzioni consigliate per limitare l’autogenerazione del rumore.

Prescrizioni per limitare l'autogenerazione del rumore nei gomiti.

- La velocità dell'aria e la vicinanza di ventilatori e componenti sia nel senso del flusso che in senso opposto determinano quale tipo preferire.
- La lunghezza dei raddrizzatori di filetti deve essere almeno 3 volte la distanza fra le alette.

Prescrizioni per limitare l'autogenerazione del rumore negli stacchi.

Prescrizioni per limitare l'autogenerazione del rumore negli innesti a "T".

Prescrizioni per limitare l'autogenerazione del rumore nelle trasformazioni e nei disassamenti.

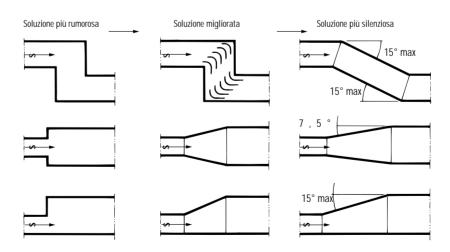



Fig. 3.18 - Prescrizioni per limitare l'autogenerazione di rumore

3.6 Comportamento al fuoco dei materiali isolanti

Il "comportamento al fuoco" va inteso come l'insieme delle varie trasformazioni fisiche e chimiche che materiali e strutture impiegati nella realizzazione di un edificio subiscono quando sono sottoposti all'azione del fuoco.
L'esigenza di salvaguardare le costruzioni edili dalle conseguenze di eventuali incendi impone che tale comportamento soddisfi determinati standards.
Il comportamento al fuoco è preso in considerazione anche da varie disposizioni legislative che riguardano sia la prevenzione incendi che la prevenzione infortuni.

3.6.1 Sviluppo ed evoluzione di un incendio

La figura 3.19 schematizza il modo in cui qualitativamente si sviluppa e progredisce un incendio. Inizia con una fase di innesco prodotta dall'apporto termico che un materiale combustibile presente riceve da una vicina sorgente di calore (generalmente apparecchi di riscaldamento o di cottura, cortocircuiti elettrici, sigarette, inneschi dolosi).

Tale calore, trasmesso per conduzione, convenzione e irraggiamento (in combinazione tra loro) induce il materiale combustibile a sviluppare gas che bruciano con fiamma e danno luogo ad ulteriore produzione di calore e innalzamento della temperatura.

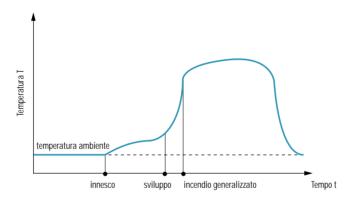



Fig. 3.19 - Evoluzione di un incendio

Si ha così una fase di sviluppo dell'incendio, caratterizzata da un sempre più rapido aumento della temperatura e della velocità di propagazione delle fiamme; tale fase si conclude con una vampata generale ("flash over") dovuta al rapidissimo aumento della velocità di diffusione del fuoco, che coinvolge tutte le superfici combustibili presenti.
Da questo momento ha inizio l'incendio generalizzato che, in assenza di interventi, brucia l'intero locale facendogli raggiungere il livello più alto di temperatura. L'incendio si conclude con una fase di declino caratterizzata da un più o meno lento diminuire della temperatura e della produzione di calore, come conseguenza dell'esaurirsi di materiale capace di bruciare.
Ovviamente, per prevenire l'insorgere dell'incendio di un edificio o almeno per ostacolarne la propagazione, è fondamentale l'impiego di materiali e componenti capaci di opporsi validamente sia all'innesco che allo sviluppo del fuoco.

3.6.2 La sicurezza dei canali P3ductal nei confronti del fuoco

In tutti i paesi del mondo, la "Prevenzione Incendi" si occupa di prevenire l'insorgere di tale fenomeno mediante varie misure di protezione attiva; allo stesso tempo cerca anche di limitarne tutte le possibili conseguenze mediante varie misure di protezione passiva; sia la protezione attiva sia quella passiva hanno come fine primario quello di assicurare la possibilità di un esodo, rapido e completo, delle persone presenti senza rischi aggiuntivi neppure per i soccorritori. Molti sono i mezzi ed i sistemi che concorrono a realizzare tale fine; ricordiamone i principali:

- la REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI che è universalmente riconosciuta come una delle principali discipline su cui si articola la PROTEZIONE ATTIVA dai rischi d'incendio;
- la RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE che è invece una delle principali discipline su cui si articola invece la PROTEZIONE PASSIVA dai rischi d'incendio;
- la limitazione della TOSSICITÀ ED OPACITÀ DEI FUMI generati dalla combustione dei materiali è la più moderna disciplina alla base di molte misure di sicurezza e realizzazioni tecniche finalizzate a garantire un rapido e sicuro esodo dagli edifici in cui si verifica un incendio;
- gli IMPIANTI di rivelazione di fumo, di rivelazione d'incendio, di spegnimento, di evacuazione dei fumi, etc. sono altri mezzi tecnologici che concorrono alla realizzazione della sicurezza antincendio; costituiscono, tuttavia, una soluzione "aggiuntiva e costosa" al problema, mentre i tre precedenti sistemi sono una soluzione intrinseca ai materiali stessi che potrebbero partecipare all'incendio.

3.6.3 Reazione al fuoco dei materiali

Proviamo a pensare ad un qualunque edificio composto da più locali, vani, sale, stanze magazzini e corridoi; in uno qualunque di questi ambienti può accadere che si sviluppi, per le cause più disparate, un principio d'incendio.

La reazione al fuoco dei materiali si occupa delle caratteristiche che i diversi materiali impiegati presenti all'interno di un ambiente hanno sia nei confronti della infiammabilità (facilità di accensione) sia nei confronti della propagazione dell'eventuale incendio a tutto il resto di quell'ambiente.

Per esempio, se un cestino di carta straccia prende fuoco, il tendaggio, la moquette e la poltrona ad esso vicini non devono accendersi facilmente e, comunque, qualora prendano fuoco, devono essere in grado di limitare la propagazione delle fiamme (cioè devono spegnersi) ad una distanza molto limitata dalla sorgente dell'incendio.

Attualmente, in molti paesi, le caratteristiche di reazione al fuoco dei materiali sono classificate generalmente attraverso dei numeri convenzionali quali 0 (zero) ed 1 (uno) per i materiali che più difficilmente si infiammano e che più facilmente arrestano la propagazione di un incendio; numeri più alti quali 3 (tre) e 4 (quattro) indicano i materiali che più facilmente si incendiano e che non sono in grado di arrestare la propagazione delle fiamme poichè essi stessi contribuiscono ad alimentarle ed estenderle attraverso fenomeni quali il gocciolamento di parti accese, l'incandescenza, ecc.

Tali numeri, a seconda del paese considerato, sono preceduti o seguiti da alcune lettere convenzionali ovvero sono a sé stanti; per esempio:

Francia	M0, M1, M2, M3, ...	
Germania	A1, A2, ..., B1, B2, B3, ...	"A" = non combustibili "B" = combustibili
Gran Bretagna	0, 1, 2, 3, ...	
U.S.A.	V0, V1, V2, ..., H0, H1, H2, ...	"V" = posizione di prova "Vertical" "H" = posizione di prova "Horizontal"
Italia	0, 1, 2, 3, 4, ..., 1 IM, 2 IM, ...	materiali diversi dagli imbottiti "IM" (i emme) significa "IMbottiti"

Tabella 3.10

Poiché la classificazione è ottenuta con metodi di prova diversi tra loro, non è possibile comparare rigorosamente le classificazioni di Paesi diversi.

La futura normativa armonizzata europea di classificazione di reazione al fuoco prevede una classificazione in euroclassi espresse con lettere, ovverosia, A e B per i materiali migliori, C per quelli intermedi, e D ed E per i peggiori, F per i non classificati.

Purtroppo, per varie motivazioni sia tecniche, sia economiche che legali, il CEN (che è il Comitato Europeo di Normazione dove sono rappresentati tutti gli Stati membri dell'Unione Europea e sono presenti anche degli osservatori di altri Paesi non europei membri dell'ISO, International Standards Organization) non è ancora giunto ad un accordo definitivo sui precisi metodi di prova e classificazione di reazione al fuoco da adottare nella futura norma armonizzata europea, per cui la data della effettiva adozione in tutta Europa di una sistema unico di classificazione è ancora lontana.

Nel frattempo, la P3 ha già provveduto a far certificare ed omologare i propri prodotti classificandoli nelle migliori classi di reazione al fuoco, per esempio: nelle classi 1 (uno), 0-1 (zero-uno), 0-2 (zero-due) in Italia, nelle classi M1 (emme uno) ed M2 (emme due) in Francia, B1 (bi uno) e B2 (bi due) in Germania, e così via. In questo modo gli utenti e gli operatori del settore hanno la certezza di un prodotto non solo sicuro ma anche approvato ufficialmente dagli organismi di controllo competenti.

Questo nostro impegno a far approvare tutti i nostri prodotti costituisce anche una doverosa forma di attenzione e responsabilità nei confronti di tutta l'utenza finale, garantita anche dell'ottenimento del prestigioso riconoscimento ISO 9000 che si rilascia alle aziende che lavorano in regime di qualità.

3.6.4 Resistenza al fuoco delle strutture

La resistenza al fuoco cerca di quantificare e classificare la durata temporale di strutture e compartimentazioni delle costruzioni nell'ipotesi di un incendio normalizzato; ovverosia, dato per scontato che un incendio di una certa entità si é sviluppato in un certo ambiente, occorre che strutture quali muri, solai, travi, pilastri, porte tagliafuoco, serrande tagliafuoco, etc. che delimitano tale ambiente, resistano ai carichi sia statici che di dilatazione termica; occorre anche che non lascino fuori uscire fiamme o gas ad alta temperatura da tale ambiente; occorre poi che non trasmettano per conduzione termica calore alle superfici delle facce esterne dell'ambiente in cui é divampato l'incendio; infatti, un rivestimento murale in legno, panno o carta posto nella stanza adiacente a quella dove l'incendio é già presente potrebbe infiammarsi ed innescare un altro incendio per effetto del solo surriscaldamento delle pareti ovvero a causa dei gas incandescenti che potrebbero trafilare dalle fessure, ovvero per il crollo stesso di una parete o di una porta che potrebbe mettere in piena comunicazione i due ambienti adiacenti.

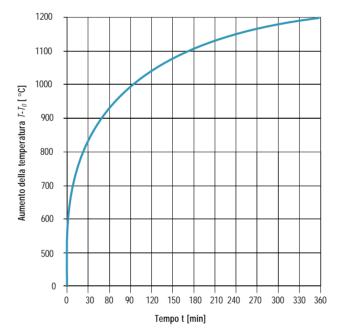
Fig. 3.20 - Curva campione temperatura-tempo

ISO 834	
tempo t [min]	temperatura media del forno [°C]
5'	≈576
10'	≈678
15'	≈739
30'	≈842
45'	≈902
60'	≈945
90'	≈1006
120'	≈1049
180'	≈1110
360'	≈1214

Tabella 3.11

La figura 3.20 riporta la curva, in funzione del tempo t [min], dell'aumento della temperatura $T-T_0$ dove T è la temperatura media del forno descritta dalla norma intenazionale ISO 834 secondo la relazione matematica seguente:

T [°C] = $345 \log_{10} (8^* t_{min} + 1) + 20$
e
$T_0 = 20$ °C

La tabella 3.11 indica, a puro titolo esemplificativo, le temperature medie del forno di prova definite dalla medesima norma internazionale ISO 834.

Come è noto, le condotte di ventilazione e riscaldamento non sono elementi strutturali e non delimitano né compartimentano alcun ambiente, pertanto, non sono soggette a vincoli sulle caratteristiche di resistenza al fuoco se non per quanto attiene il loro attraversamento di strutture di compartimentazione quali i muri tagliafuoco; in tal caso si devono utilizzare serrande tagliafuoco resistenti al fuoco e tamponamenti pure resistenti al fuoco.
In anni non lontani, una certa confusione era stata resa possibile dall'ambiguo uso della locuzione "materiale resistente al fuoco" a causa della tardiva caratterizzazione della disciplina della reazione al fuoco dei materiali. Ora queste ambiguità sono superate ed "il termine "resistente al fuoco" deve intendersi riferito unicamente agli elementi strutturali "portanti e/o separanti." È infatti noto che, qualora un qualunque tipo di condotta attraversi "vani scala o vani ascensore" o "locali che presentino pericoli d'incendio, di esplosione e di scoppio" o "vie di uscita" l'attraversamento di tali locali può essere ammesso se le condotte sono racchiuse in altre strutture resistenti al fuoco di classe generalmente almeno pari a quella del vano attraversato.

La resistenza al fuoco di un manufatto, se non diversamente specificato, indica generalmente il più piccolo fra i valori di "resistenza e stabilità", "tenuta ai gas ed alle fiamme" ed "isolamento termico" determinati dal manifestarsi dei seguenti fenomeni:
- passaggio di fuoco e fumo, che determina così il valore temporale della "tenuta ai gas ed alle fiamme";
- temperatura media di 150 °C sulla faccia opposta a quella di esposizione al fuoco od un picco locale di 180 °C sulla medesima superficie opposta a quella di esposizione al fuoco; si determina così il valore temporale dello "isolamento termico";
- perdita di stabilità e/o cedimenti che determinano così il valore temporale della "resistenza e stabilità";

Tali valori, comunque, vengono specificati uno per uno nei rapporti di prova.

I metodi di prova per la determinazione della resistenza al fuoco delle strutture sono assai simili in quasi tutto il mondo; differiscono invece solo per le lettere convenzionali che accompagnano i numeri che ne indicano la resistenza temporale; a puro titolo di esempio, in Italia "REI 30" indica che per 30 minuti primi sono garantite la "resistenza e stabilità R", la "tenuta ai gas ed alle fiamme E" e lo "isolamento termico I" di un manufatto che per ipotesi, è R90, E60, I30.

Manufatti con resistenza al fuoco inferiore a 15 (quindici) minuti si considerano "NON resistenti al fuoco".

Quanto sopra esposto mette in evidenza che le condotte di ventilazione e riscaldamento, quando sono realizzate con lamiere di acciaio non sono affatto "resistenti"al fuoco. Anzi, a causa della sua elevata conducibilità termica, una lamiera metallica non raggiungerebbe neppure i 3 (tre) minuti di resistenza al fuoco. Analoga cosa accade anche se le condotte metalliche tradizionali sono isolate con materiali spugnosi o fibrosi di classe uno, e persino utilizzando isolamenti con materiali fibrosi incombustibili (resistenza al fuoco dell'ordine dei 10 minuti).

Inoltre, all'atto del loro collasso, le pesanti condotte metalliche tradizionali provocano ulteriori e seri pericoli, specie nella fase di soccorso che segue un incendio.

3.6.5 Il carico d'incendio

Uno dei principi fondamentali della resistenza al fuoco riguarda la determinazione del carico d'incendio presente nell'ambiente da compartimentare cioè della quantità di calore che l'insieme dei materiali combustibili presenti potrebbero potenzialmente sviluppare
(il valore è generalmente rapportato al metro quadro di superficie od al metro cubo di volume, e dipende dal potere calorifico superiore dei materiali presenti e dal quantitativo con cui sono presenti).
Per esempio, un magazzino contenente esclusivamente mattonelle in ceramica e mattoni di vetro non necessita di protezioni particolarmente resistenti al fuoco essendo pressoché nulla la quantità di materiale combustibile in esso presente. Al contrario il medesimo magazzino, se utilizzato per il deposito di materiali tessili, ha bisogno non solo di protezioni particolarmente resistenti al fuoco, ma anche di efficaci impianti di smaltimento dei fumi (tossici e scuri) che le fibre tessili sprigionano in gran quantità.

Le condotte di ventilazione e riscaldamento P3ductal, essendo costituite da un sottile e leggero cuore isolante in poliuretano (rivestito da pellicole di alluminio), oltreché essere di fatto esenti dal rischio di innescare e propagare un incendio, neppure contribuiscono significativamente all'aumento del carico d'incendio di un ambiente.

Facciamo un esempio numericamente tangibile considerando, in un grande magazzino per l'abbigliamento, una sala con pianta di 10 m x 10 m = 100 m^2 attraversata da una condotta di sezione netta 50 cm x 50 cm, più che sufficiente alle necessità dell'impianto e dell'ambiente:

- per ogni metro di condotta si determina facilmente l'impiego di circa 2,08 m^2 di poliuretano di spessore 20 mm che con una condotta lunga 10 m dà facilmente un volume di poliuretano pari a circa 0,416 m^3;
- avendo un peso specifico di circa 49 kg/m^3 ed un potere calorifico superiore minore di 6.000 kcal/kg (5.600 kcal/kg per la precisione), si dimostra facilmente che al carico d'incendio della sala si contribuisce sicuramente con meno di 1.224 kcal/m^2 di sala;
- poichè il carico d'incendio tipico di un tale ambiente è normalmente dell'ordine di 240.000 ÷ 360.000 kcal/m^2, il componente isolante di una condotta P3ductal incide sul carico d'incendio per meno dello 0,5%;
- questa percentuale è assai più piccola di quella relativa al margine d'errore con cui si determinano le quantità di merci combustibili presenti e non è neppure significativa ai fini delle prescrizioni di resistenza al fuoco delle compartimentazioni;
- se consideriamo una piccola camera d'albergo da 4,5 m x 3,5 m = 15,75 m^2 con un tipico carico d'incendio equivalente a circa 100.000 kcal/m^2 ed una condotta P3ductal di sezione libera 25 cm x 25 cm, si determina facilmente un apporto al carico d'incendio che non supera il 2%;

- infatti 4 lati di condotta da (25+2) cm, moltiplicati per 4,5 m di lunghezza, moltiplicati per 0,020 m di spessore, moltiplicati per un peso specifico di 49 kg/m^3, moltiplicati per 6.000 kcal/kg $_{(PU)}$, divisi per i 15,75 m^2 della stanza, danno circa 1.815 kcal/m^2, valore inferiore al 2% di un carico d'incendio di 92.000 kcal/m^2.

Pertanto, anche da questo punto di vista le condotte P3ductal contribuiscono al miglioramento del grado di sicurezza globale di un edificio.

3.6.6 Tossicità ed opacità dei fumi

È noto da tempo che la maggior parte delle vittime e dei feriti in un incendio sono provocati non tanto dalle ustioni delle fiamme o dal cedimento delle strutture, quanto dalle intossicazioni per inalazione di gas velenosi e dal panico provocato dai gas densi e scuri che rapidamente invadono tutti gli ambienti, anche quelli dove non ci sono fiamme.

Per tale motivo, in questi ultimi anni, soprattutto sui mezzi di trasporto quali aeroplani, treni ed aliscafi e navi veloci, dove il soccorso non può essere prestato rapidamente e dove il volume degli ambienti é limitatissimo e, per contro, le persone non possono abbandonare tali mezzi senza gravissimi rischi, si é posta moltissima attenzione alla caratterizzazione dei materiali impiegati dal punto di vista della loro limitata attitudine a produrre gas tossici ed opachi.

Anche in questo caso però i metodi di prova e classificazione sono numerosissimi e differiscono non solo da paese a paese ma anche da situazione a situazione; attualmente, le norme più usate sono le francesi AFNOR campo ferroviario, le americane FAR o le europee AIRBUS nel campo aeronautico; in campo marittimo si utilizzano queste ed altre norme ancora.
In ogni caso, a dimostrazione della estrema pericolosità dei fumi della combustione, tutti questi metodi di prova prendono in esame sostanzialmente i primissimi minuti dello sviluppo di un incendio (generalmente appena quattro) poiché si ritiene che dopo tale periodo, la quantità e qualità dei gas prodotti da qualunque materiale combustibile siano comunque talmente inabilitanti da provocare svenimenti e seri rischi di morte in chi non si sia ancora messo al sicuro o non si sia protetto in qualche modo.

Dato il notevole impegno tecnologico che sta alla base della realizzazione di materiali con buone caratteristiche nei confronti della tossicità ed opacità dei gas della combustione, per anni si è ragionato secondo il criterio (non sempre corretto) che "ciò che non brucia non fa fumo" e, pertanto, per molti anni queste caratteristiche sono state trascurate (a favore delle caratteristiche di reazione al fuoco) sia dai Legislatori che dagli estensori delle specifiche di fornitura.
Oggi, con l'avvento di nuovi mezzi e conoscenze tecnologiche, P3 si è posta all'avanguardia anche in tale difficilissimo settore certificando i suoi materiali secondo diverse normative relative alla opacità e tossicità dei fumi.

Evitando di descrivere astrattamente le complesse specie chimiche che caratterizzano la pericolosità dei gas da combustione, si può esemplificare la situazione sottolineando che, sia nel magazzino di tessili che nella camera d'albergo dei precedenti esempi, la condotta P3ductal produrrà gas da combustione meno tossici ed opachi e sempre in quantità minore delle merci e degli arredi presenti; la cosa è ancor più evidente se, sempre per esempio, il magazzino fosse un reparto di hobbistica (con vernici e colle), o di giocattoli (generalmente a base di PVC), o di articoli per lo sport (generalmente a base di nylon e gomme sintetiche), etc.; analogamente se la camera d'albergo fosse riccamente arredata o magari fosse la sala di un cinema o di un teatro con poltrone imbottite e soffici rivestimenti murali e moquettes dalle caratteristiche fonoassorbenti.

I canali P3ductal non producono gas di combustione contenenti sostanze istantaneamente inabilitanti, nè metalli pesanti, nè derivati del vinile, nè diossina, nè altri cancerogeni.

3.7 Igiene e qualità dell'aria

Il problema della qualità dell'aria, negli ambienti interni, ha avuto negli ultimi tempi una esplosione di interesse; per utilizzare dei termini inglesi, ormai di comune utilizzo, "Acceptable Indoor Air Quality" (Qualità accettabile dell'aria interna), secondo la normativa ASHRAE 62-1989 è definita come: "Aria in cui non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti, e rispetto alla quale la maggioranza (almeno 80%) delle persone esposte non esprime insoddisfazione".

Anche il sistema aeraulico può svolgere un ruolo importante limitando l'inquinamento dell'aria convogliata.
Vi sono principalmente due fattori che possono generare inquinamento da parte dei canali:
- rilascio di inquinanti (emissioni dei materiali da costruzione dei canali);
- livello di pulizia dei canali.

3.7.1 Rilascio di inquinanti

I canali P3ductal, sono costituiti da pannelli sandwich rivestiti all'interno e all'esterno con lamiera di alluminio.
L'impiego di alluminio, come superficie interna dei canali, assicura igiene e facile pulizia. Esso consente di far fronte al grosso problema del rilascio di fibre ad opera del rivestimento di materiale isolante che ancora oggi, in alcuni casi, viene inserito all'interno dei canali. L'invecchiamento infatti, determina il continuo distacco di particelle di coibente, che vengono trasportate dall'aria e introdotte negli ambienti. I canali P3ductal sono stati sottoposti, in diversi stati, ai relativi test igienici per determinarne la migrazione globale a contatto con le sostanze alimentari. In base ai risultati ottenuti dalle prove, il campione di alluminio è risultato idoneo a venire in contatto con le sostanze alimentari.
(Per ulteriori informazioni chiedere la documentazione tecnica in possesso della P3).

3.7.2 Livello di pulizia dei canali

Mentre una volta la manutenzione degli impianti di ventilazione era finalizzata esclusivamente ad un recupero di "efficienza di ventilazione" in termini energetici, oggi molta importanza viene rivolta alla pulizia degli impianti, in virtù delle conseguenze che la qualità dell'aria può avere sulla salute dell'uomo. Nei sistemi di ventilazione infatti, oltre allo sporco può annidarsi una grande varietà di microrganismi che successivamente possono venire introdotti nell'ambiente attraverso il sistema aeraulico. Una accurata e regolare pulizia delle canalizzazioni può garantire una migliore convivenza tra l'uomo e l'ambiente ventilato in cui viene a trovarsi. Per mantenere però un corretto livello di pulizia di un impianto si deve intervenire su tutti i componenti del sistema di ventilazione altrimenti la pulizia delle canalizzazioni non potrà garantire i risultati attesi. Infatti molte volte vengono attribuite ai canali colpe che invece risiedono in altri componenti del sistema aeraulico che non vengono presi in considerazione.
I canali P3ductal, come già accennato, presentando il rivestimento interno in alluminio, non favoriscono l'annidamento di microrganismi e il deposito di polvere, e comunque mediante una idonea opera di pulizia effettuata da società specificamente certificate, si possono conseguire rendimenti di pulizia del 96-97% contro il 46-47% raggiungibili sui canali con isolante posto all'interno.
I canali preisolati in alluminio, inoltre, contraddistinti da una notevole facilità nel venire lavorati, consentono di realizzare numerose portine di ispezione, anche nei canali già in posa da anni, permettendo così una comoda ed efficace accessibilità.

3.7.3 Come pulire i canali P3ductal

Dopo aver eseguito una prima fase ispettiva ed una successiva fase di analisi delle eventuali polveri prelevate nei punti critici all'interno dei canali, si procede alla pulizia dei canali solo dopo aver messo in depressione l'impianto. Le tecnologie più comuni sono le seguenti:

- pulizia con spazzole rotanti: è la tecnologia più tradizionale e viene impiegata da sola, in caso di sporco leggero. È importante utilizzare spazzole con durezza e diametro idonei a non danneggiare le pareti in alluminio.
- pulizia con getti d'aria: diventa indispensabile quando l'accesso al canale risulta problematico a causa delle ridotte dimensioni o per la presenza di barriere o ostacoli; la pressione e la portata del getto d'aria variano in funzione della dimensione del canale. Questa lama d'aria colpendo le pareti determina, con la sua energia cinetica, il distacco della polvere e delle incrostazioni.

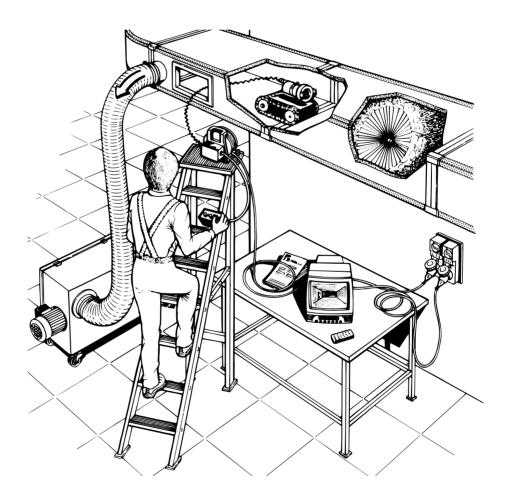



Fig. 3.21 - Processo di pulizia dei canali P3ductal

3.8 Quanto durano i canali P3ductal

La durata nel tempo (durabilità in termini tecnici) di un qualsiasi componente, deve essere messa in relazione alla funzione che lo stesso deve esercitare.
I canali P3ductal adibiti al trasporto di sola aria, devono presentare dei requisiti fondamentali che possono essere suddivisi nel modo seguente:

- resistenza alla corrosione,
- resistenza all'erosione,
- resistenza alla deformazione.

3.8.1 Resistenza alla corrosione

La corrosione si può definire come l'alterazione di un metallo, o di una lega, ad opera di reazioni chimiche o elettrochimiche generate da agenti presenti nell'ambiente in cui viene a trovarsi il metallo stesso.
I canali P3ductal, nei limiti del loro campo di utilizzo (vedi cap." Dove installare i canali P3ductal"), garantiscono delle buone prestazioni di resistenza alla corrosione, grazie alle lamine di alluminio. Inoltre l'alluminio dei canali P3ductal è protetto con una speciale lacca antiossidante a base poliestere che mantiene i canali brillanti nel tempo.
Per gli impianti installati in atmosfere particolarmente aggressive (stagionatura formaggi, piscine, prossimità di riviere marine) la P3 ha comunque sviluppato uno specifico pannello dotato di un alluminio accoppiato con un film di poliestere da 13 micron.
Per l'unione dei canali installati in questi ambienti agressivi sono state sviluppate apposite flange in PVC.

3.8.2 Resistenza all'erosione

Dato che i canali in alluminio preisolati P3ductal sono destinati al convogliamento dell'aria esclusivamente negli impianti di condizionamento e termoventilazione, e considerato che la velocità massima consigliata dell'aria non supera i 15 m/s, i canali garantiscono un'ottima resistenza all'erosione, con un assottigliamento del foglio di alluminio praticamente nullo nel tempo.

3.8.3 Resistenza alla deformazione

La P3, in collaborazione con alcuni autorevoli centri di ricerca, ha condotto una indagine conoscitiva volta ad individuare i limiti d'impiego dei canali in alluminio preisolati.
La ricerca ha avuto come scopo l'acquisizione di informazioni sul comportamento strutturale degli elementi componenti il canale, ovvero di determinare le sollecitazioni massime compatibili con la resistenza degli elementi stessi, e le deformazioni compatibili con le limitazioni imposte.
La bozza di norma europea impone che la deformazione massima, sui lati dei canali rettangolari, non superi il 3% della dimensione trasversale del canale, e comunque, che non sia maggiore di 30 mm.

I risultati della ricerca hanno consentito lo sviluppo di un sistema di verifica delle prestazioni dei canali nelle varie condizioni di esercizio (pressione, dimensioni lati e sistema costruttivo). I dati raccolti in forma grafica consentono di individuare la necessità di inserire appositi rinforzi nelle condotte.
Grazie ai rinforzi costituiti da speciali tubetti in alluminio da inserire all'interno del canale è possibile realizzare canali in grado di trasportare aria con notevoli pressioni, sia positive che negative (vedi cap. 7 "Dove installare i canali P3ductal".

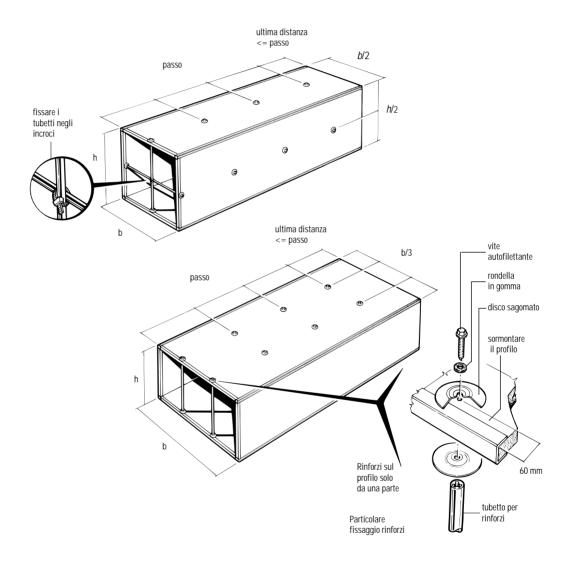



Fig. 3.22 - Sistema di rinforzo per i canali P3ductal

4.1 Il metodo della perdita di carico costante

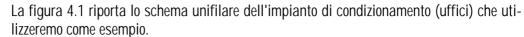
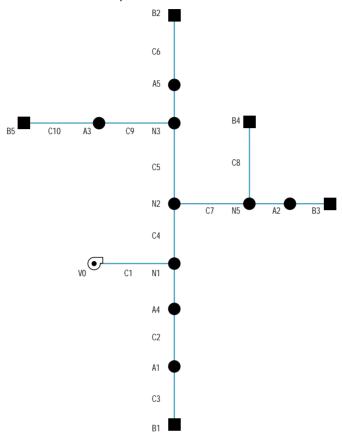
Un accurato dimensionamento di un impianto aeraulico richiede sempre tempo ed esperienza. Devono essere considerati i problemi collegati alla costruzione delle condotte, all'installazione in cantiere, costi iniziali, costi di gestione dell'impianto, controllo del rumore, nonchè il controllo del fumo e del fuoco.
È fondamentale inoltre inserire delle serrande per poter effettuare il bilanciamento dell'impianto una volta dimensionato.
Lo scopo di queste pagine è quello di dare alcune nozioni di base per il dimensionamento delle condotte utilizzando il metodo a "perdita di carico costante".

Tra i metodi più diffusi di dimensionamento il metodo a perdita di carico costante è uno dei più collaudati ed è stato usato con successo per anni soprattutto per gli impianti a media - bassa pressione quali il P3ductal è rivolto. In pratica l'intera canalizzazione viene dimensionata mantenendo costante la perdita di carico per metro lineare. Questo metodo riduce "automaticamente" la velocità dell'aria nella direzione del flusso d'aria così che, scegliendo una ragionevole velocità iniziale, le opportunità di autogenerazione del rumore causate dall'alta velocità vengono ridotte o eliminate.
Nell'esempio riportato alcune procedure sono state volutamente semplificate mantenendo comunque un buon grado di affidabilità.
Ricordiamo inoltre che la P3 ha sviluppato un apposito software (ductware) per il dimensionamento delle condotte che rappresenta un valido e pratico aiuto ai progettisti di impianti aeuraulici.

4.2 Esempio di dimensionamento

Il procedimento tipico per il dimensionamento di un impianto aeuraulico si può suddividere in diverse fasi:

1. È necessario conoscere alcuni dati fondamentali:
- Percorso dell'impianto
- Portata di ogni bocchetta e/o diffusore.

La figura 4.1 riporta lo schema unifilare dell'impianto di condizionamento (uffici) che utilizzeremo come esempio.

A = accidentalità (curve, serrande, spostamenti ecc.)

B = bocchette, diffusori ecc.

C = canali diritti

N = nodi (diramazioni a 2 o 3 vie)

V = ventilatore

Fig. 4.1 - Schema unifilare

Nella tabella 4.1 sono indicate le portate fissate per ogni bocchetta e/o diffusore dell'impianto "esempio"

Riferimento	B1	B2	B3	B4	B5	Totale
Portata [m^3/s]	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15	0,85

Tabella 4.1

2. Si definisce la velocità dell'aria nel tratto di condotto a valle del ventilatore.

Nelle tabelle 4.2 e 4.3 sono riportate rispettivamente le velocità consigliate e le velocità massime in funzione del tipo di canale. È importante ricordare che la velocità dell'aria all'interno delle condotte è la principale causa, assieme ad una costruzione poco accurata, della rumorosità per autogenerazione nella condotta (vedi cap. "Il rumore nei canali").

Canale tipo	Velocità consigliate		
	Edifici residenziali [m/s]	Edifici pubblici / Scuole [m/s]	Edifici industriali [m/s]
Canali principali	3,5 - 4,5	5 - 6,5	6 - 9
Canali secondari	3	3 - 4,5	4 - 5
Montanti secondari	2,5	3 - 3,5	4
Presa aria esterna	2,5	2,5	2,5

Tabella 4.2

	Velocità massime [m/s]	[m/s]	[m/s]
Canali principali	4 - 6	5,5 - 8	6,5 - 1
Canali secondari	3,5 - 5	4 - 6,5	5 - 9
Montanti secondari	3,25 - 4	4 - 6	5 - 8
Presa aria esterna	4	4,5	6

Tabella 4.3

Nell'impianto "esempio" fissiamo per il tronco V0-N1 una velocità di 5 m/s.

3. Si determina il valore della perdita di carico lineare utilizzando il grafico 4.2, intersecando la quantità d'aria prevista nel tronco (0,85 m^3/s), e la velocità selezionata (5 m/s) . Per l'impianto preso ad esempio il valore della perdita di carico è di circa 0,57 Pa/m.

4. Nello stesso grafico di ricava anche il valore del diametro del condotto *De*.
Per l'esempio, nel ramo V0-N1 risulta *De* = 470 mm.
Per determinare le dimensioni *a* x *b*, di un canale rettangolare equivalente al condotto circolare di diametro *De*, è possibile utilizzare la formula di seguito riportata oppure le tabelle nelle pagine successive.

$$De = 1,3 \frac{(a\,b)^{0,625}}{(a+b)^{0,250}}$$

Nota: per "equivalente" si intende che da luogo alla stessa perdita di carico a parità di portata.

Nella tabella 4.4 i valori di a e b sono stati standardizzati al fine di ottenere una migliore ottimizzazione dei materiali e quindi un contenimento dei costi. Ciò non esclude che i canali P3ductal possono essere anche di dimensioni intermedie.

Nel selezionare le dimensioni della condotta è importante ricordare che:

- Le dimensioni dei lati (*a* e *b*) devono essere dei multipli di 50 mm.
- Le riduzioni vanno evitate se comportano una variazione inferiore ai 50 mm; si preferisce conservare l'originaria sezione fino al sucessivo diffusore o diramazione.
- Un'economia sui costi di installazione può essere realizzata eseguendo le riduzioni sull'uno o sull'altro lato del canale, invece che su entrambe.
- È sconsigliato superare il rapporto *a*/*b*=4 sia per motivi economici che aerodinamici.

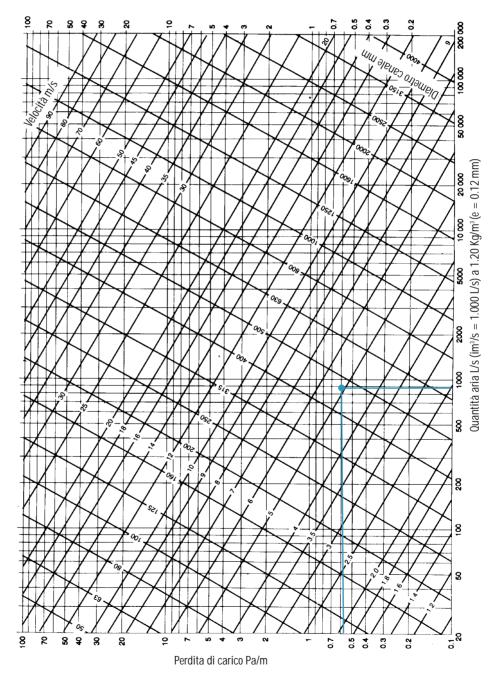



Fig. 4.2- Perdite di carico nei canali P3ductal

4

	150		200		250		300		350		400		450		500	
	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]
150	164	0,0211														
200	189	0,028	219	0,0376												
250	210	0,0346	244	0,0467	273	0,0585										
300	229	0,0412	266	0,0555	299	0,0702	328	0,0845								
350	245	0,0471	286	0,0642	322	0,0814	354	0,0984	383	0,1152						
400	260	0,0531	305	0,073	343	0,0924	378	0,1122	409	0,1313	437	0,1499				
450	274	0,0589	321	0,0809	363	0,1034	400	0,1256	433	0,1472	464	0,169	492	0,19		
500	287	0,0647	337	0,0892	381	0,114	420	0,1385	455	0,1625	488	0,1869	518	0,2106	547	0,2349
550	299	0,0702	352	0,0973	398	0,1243	439	0,1513	477	0,1786	511	0,205	543	0,2315	573	0,2577
600	310	0,0754	365	0,1046	414	0,1345	457	0,1639	496	0,1931	533	0,223	567	0,2524	598	0,2807
650	321	0,0809	378	0,1122	429	0,1445	474	0,1764	515	0,2082	553	0,2401	589	0,2723	622	0,3037
700	331	0,086	391	0,12	443	0,1541	490	0,1885	533	0,223	573	0,2577	610	0,2921	644	0,3256
750	341	0,0913	402	0,1269	457	0,1639	506	0,201	550	0,2375	592	0,2751	630	0,3116	666	0,3482
800	350	0,0962	414	0,1345	470	0,1734	520	0,2123	567	0,2524	609	0,2911	649	0,3306	687	0,3705
850	359	0,1012	424	0,1411	482	0,1824	534	0,2238	582	0,2659	626	0,3076	668	0,3503	706	0,3913
900	367	0,1057	435	0,1485	494	0,1916	548	0,2357	597	0,2798	643	0,3246	686	0,3694	726	0,4138
950	376	0,111	445	0,1554	506	0,201	561	0,2471	612	0,294	659	0,3409	703	0,388	744	0,4345
1000	384	0,1158	454	0,1618	517	0,2098	574	0,2586	626	0,3076	674	0,3566	719	0,4058	762	0,4558
1050	391	0,12	464	0,169	528	0,2188	586	0,2696	639	0,3205	689	0,3727	735	0,4241	779	0,4764
1100	399	0,125	473	0,1756	538	0,2272	598	0,2807	652	0,3337	703	0,388	751	0,4427	795	0,4961
1150	406	0,1294	481	0,1816	548	0,2357	609	0,2911	665	0,3471	717	0,4036	766	0,4606	812	0,5176
1200	413	0,1339	490	0,1885	558	0,2444	620	0,3018	677	0,3598	731	0,4195	780	0,4776	827	0,5369
1250			498	0,1947	568	0,2533	631	0,3126	689	0,3727	744	0,4345	795	0,4961	843	0,5579
1300			506	0,201	577	0,2613	642	0,3235	701	0,3857	757	0,4498	808	0,5125	857	0,5765
1350			514	0,2074	586	0,2696	652	0,3337	713	0,3991	769	0,4642	822	0,5304	872	0,5969
1400					595	0,2779	662	0,344	724	0,4115	781	0,4788	835	0,5473	886	0,6162
1450					604	0,2864	672	0,3545	735	0,4241	793	0,4936	848	0,5645	900	0,6359
1500					612	0,294	681	0,3641	745	0,4357	805	0,5087	860	0,5806	913	0,6544
1550					621	0,3027	691	0,3748	756	0,4487	816	0,5227	873	0,5983	926	0,6731
1600							700	0,3847	766	0,4606	827	0,5369	885	0,6148	939	0,6922
1650							709	0,3946	776	0,4727	838	0,5513	897	0,6316	952	0,7114
1700							718	0,4047	785	0,4837	849	0,5658	908	0,6472	964	0,7295
1750							726	0,4138	795	0,4961	859	0,5792	919	0,663	976	0,7478
1800							735	0,4241	804	0,5074	869	0,5928	930	0,6789	988	0,7663
1850							743	0,4334	814	0,5201	879	0,6065	941	0,6951	1000	0,785
1900							751	0,4427	823	0,5317	889	0,6204	952	0,7114	1012	0,804
1950							759	0,4522	831	0,5421	899	0,6344	963	0,728	1023	0,8215
2000							767	0,4618	840	0,5539	908	0,6472	973	0,7432	1034	0,8393
2050							775	0,4715	849	0,5658	918	0,6615	983	0,7585	1045	0,8572
2100							782	0,48	857	0,5765	927	0,6746	993	0,774	1055	0,8737
2150							790	0,4899	866	0,5887	936	0,6877	1003	0,7897	1066	0,892
2200							797	0,4986	874	0,5996	945	0,701	1013	0,8055	1076	0,9089
2250							805	0,5087	882	0,6107	954	0,7144	1022	0,8199	1087	0,9275
2300							812	0,5176	890	0,6218	963	0,728	1031	0,8344	1097	0,9447
2350							819	0,5265	898	0,633	971	0,7401	1041	0,8507	1107	0,962
2400							826	0,5356	905	0,6429	980	0,7539	1050	0,8655	1116	0,9777
2450							833	0,5447	913	0,6544	988	0,7663	1059	0,8804	1126	0,9953
2500							840	0,5539	920	0,6644	996	0,7787	1068	0,8954	1136	1,013
2550									928	0,676	1004	0,7913	1076	0,9089	1145	1,0292
2600									935	0,6863	1012	0,804	1085	0,9241	1154	1,0454
2650									942	0,6966	1020	0,8167	1094	0,9395	1163	1,0618
2700									950	0,7085	1028	0,8296	1102	0,9533	1173	1,0801
2750									957	0,7189	1036	0,8425	1110	0,9672	1181	1,0949
2800									964	0,7295	1043	0,854	1119	0,9829	1190	1,1116
2850									970	0,7386	1051	0,8671	1127	0,9971	1199	1,1285
2900									977	0,7493	1058	0,8787	1135	1,0113	1208	1,1455
2950									984	0,7601	1066	0,892	1143	1,0256	1216	1,1607
3000									991	0,7709	1073	0,9038	1151	1,04	1225	1,178

Tabella 4.4

	550		600		650		700		750		800		850		900		950		1000	
	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]	Diam. [mm]	Sez. [m²]
150																				
200																				
250																				
300																				
350																				
400																				
450																				
500																				
550	601	0,2835																		
600	628	0,3096	656	0,3378																
650	653	0,3347	683	0,3662	711	0,3968														
700	677	0,3598	708	0,3935	737	0,4264	765	0,4594												
750	700	0,3847	732	0,4206	763	0,457	792	0,4924	820	0,5278										
800	722	0,4092	755	0,4475	787	0,4862	818	0,5253	847	0,5632	875	0,601								
850	743	0,4334	778	0,4751	811	0,5163	842	0,5565	872	0,5969	901	0,6373	929	0,678						
900	763	0,457	799	0,5011	833	0,5447	866	0,5887	897	0,6316	927	0,6746	956	0,717	984	0,760				
950	783	0,4813	820	0,5278	855	0,5739	889	0,6204	921	0,6659	952	0,7114	982	0,757	1011	0,802	1039	0,847		
1000	802	0,5049	840	0,5539	876	0,6024	911	0,6515	944	0,6995	976	0,7478	1007	0,796	1037	0,844	1065	0,890	1093	0,938
1050	820	0,5278	859	0,5792	897	0,6316	932	0,6819	967	0,734	1000	0,785	1031	0,834	1062	0,885	1091	0,934	1120	0,985
1100	838	0,5513	878	0,6051	916	0,6587	953	0,7129	988	0,7663	1022	0,8199	1055	0,874	1086	0,926	1117	0,979	1146	1,031
1150	855	0,5739	896	0,6302	936	0,6877	973	0,7432	1009	0,7992	1044	0,8556	1078	0,912	1110	0,967	1141	1,022	1172	1,078
1200	872	0,5969	914	0,6558	954	0,7144	993	0,774	1030	0,8328	1066	0,892	1100	0,950	1133	1,008	1165	1,065	1196	1,123
1250	888	0,619	931	0,6804	973	0,7432	1012	0,804	1050	0,8655	1086	0,9258	1122	0,988	1156	1,049	1188	1,108	1220	1,168
1300	904	0,6415	948	0,7055	990	0,7694	1031	0,8344	1069	0,8971	1107	0,962	1143	1,026	1177	1,088	1211	1,151	1244	1,215
1350	919	0,663	964	0,7295	1007	0,796	1049	0,8638	1088	0,9292	1126	0,9953	1163	1,062	1199	1,129	1233	1,193	1267	1,260
1400	934	0,6848	980	0,7539	1024	0,8231	1066	0,892	1107	0,962	1146	1,031	1183	1,099	1220	1,168	1255	1,236	1289	1,304
1450	949	0,707	996	0,7787	1041	0,8507	1084	0,9224	1125	0,9935	1165	1,0654	1203	1,136	1240	1,207	1276	1,278	1311	1,349
1500	963	0,728	1011	0,8024	1057	0,877	1100	0,9499	1143	1,0256	1183	1,0986	1222	1,172	1260	1,246	1297	1,321	1332	1,393
1550	977	0,7493	1026	0,8264	1072	0,9021	1117	0,9794	1160	1,0563	1201	1,1323	1241	1,209	1279	1,284	1317	1,362	1353	1,437
1600	991	0,7709	1041	0,8507	1088	0,9292	1133	1,0077	1177	1,0875	1219	1,1665	1259	1,244	1298	1,323	1336	1,401	1373	1,480
1650	1005	0,7929	1055	0,8737	1103	0,955	1149	1,0364	1193	1,1173	1236	1,1992	1277	1,280	1317	1,362	1356	1,443	1393	1,523
1700	1018	0,8135	1069	0,8971	1118	0,9812	1164	1,0636	1209	1,1474	1253	1,2325	1295	1,317	1335	1,399	1375	1,484	1413	1,567
1750	1031	0,8344	1082	0,919	1132	1,0059	1180	1,093	1225	1,178	1270	1,2661	1312	1,351	1353	1,437	1393	1,523	1432	1,610
1800	1043	0,854	1096	0,943	1146	1,031	1195	1,121	1241	1,209	1286	1,2982	1329	1,387	1371	1,476	1412	1,565	1451	1,653
1850	1056	0,8754	1109	0,9655	1160	1,0563	1209	1,1474	1256	1,2384	1302	1,3307	1346	1,422	1388	1,512	1430	1,605	1470	1,696
1900	1068	0,8954	1122	0,9882	1174	1,0819	1224	1,1761	1271	1,2681	1318	1,3636	1362	1,456	1405	1,550	1447	1,644	1488	1,738
1950	1080	0,9156	1135	1,0113	1187	1,106	1238	1,2031	1286	1,2982	1333	1,3949	1378	1,491	1422	1,587	1465	1,685	1506	1,780
2000	1092	0,9361	1147	1,0328	1200	1,1304	1252	1,2305	1301	1,3287	1348	1,4264	1394	1,525	1438	1,623	1482	1,724	1523	1,821
2050	1104	0,9568	1160	1,0563	1213	1,155	1265	1,2562	1315	1,3574	1363	1,4583	1410	1,561	1455	1,662	1498	1,762	1541	1,864
2100	1115	0,9759	1172	1,0783	1226	1,1799	1279	1,2841	1329	1,3865	1378	1,4906	1425	1,594	1470	1,696	1515	1,802	1558	1,906
2150	1126	0,9953	1184	1,1005	1239	1,2051	1292	1,3104	1343	1,4159	1392	1,5211	1440	1,628	1486	1,733	1531	1,840	1574	1,945
2200	1137	1,0148	1195	1,121	1251	1,2285	1305	1,3369	1356	1,4434	1406	1,5518	1455	1,662	1501	1,769	1547	1,879	1591	1,987
2250	1148	1,0346	1207	1,1436	1263	1,2522	1318	1,3636	1370	1,4734	1420	1,5829	1469	1,694	1517	1,807	1563	1,918	1607	2,027
2300	1159	1,0545	1218	1,1646	1275	1,2761	1330	1,3886	1383	1,5015	1434	1,6142	1484	1,729	1532	1,842	1578	1,955	1623	2,068
2350	1169	1,0728	1230	1,1876	1287	1,3002	1343	1,4159	1396	1,5298	1448	1,6459	1498	1,762	1546	1,876	1593	1,992	1639	2,109
2400	1180	1,093	1241	1,209	1299	1,3246	1355	1,4413	1409	1,5584	1461	1,6756	1512	1,795	1561	1,913	1608	2,030	1655	2,150
2450	1190	1,1116	1252	1,2305	1310	1,3471	1367	1,4669	1422	1,5873	1474	1,7056	1526	1,828	1575	1,947	1623	2,068	1670	2,189
2500	1200	1,1304	1262	1,2502	1322	1,3719	1379	1,4928	1434	1,6142	1488	1,7381	1539	1,859	1589	1,982	1638	2,106	1685	2,229
2550	1210	1,1493	1273	1,2721	1333	1,3949	1391	1,5189	1446	1,6414	1500	1,7663	1553	1,893	1603	2,017	1652	2,142	1700	2,269
2600	1220	1,1684	1283	1,2922	1344	1,418	1402	1,543	1459	1,671	1513	1,797	1566	1,925	1617	2,053	1667	2,181	1715	2,309
2650	1230	1,1876	1294	1,3144	1355	1,4413	1414	1,5695	1471	1,6986	1526	1,828	1579	1,957	1630	2,086	1681	2,218	1729	2,347
2700	1240	1,207	1304	1,3348	1366	1,4648	1425	1,594	1483	1,7264	1538	1,8569	1592	1,990	1644	2,122	1695	2,255	1744	2,388
2750	1249	1,2246	1314	1,3554	1376	1,4863	1436	1,6187	1494	1,7521	1550	1,886	1604	2,020	1657	2,155	1708	2,290	1758	2,426
2800	1259	1,2443	1324	1,3761	1387	1,5102	1447	1,6436	1506	1,7804	1562	1,9153	1617	2,053	1670	2,189	1722	2,328	1772	2,465
2850	1268	1,2621	1334	1,397	1397	1,532	1458	1,6687	1517	1,8065	1574	1,9448	1630	2,086	1683	2,224	1735	2,363	1786	2,504
2900	1277	1,2801	1344	1,418	1408	1,5562	1469	1,694	1529	1,8352	1586	1,9746	1642	2,117	1696	2,258	1748	2,399	1800	2,543
2950	1286	1,2982	1353	1,437	1418	1,5784	1480	1,7195	1540	1,8617	1598	2,0046	1654	2,148	1709	2,293	1762	2,437	1813	2,580
3000	1295	1,3165	1363	1,4583	1428	1,6008	1490	1,7428	1551	1,8884	1609	2,0323	1666	2,179	1721	2,325	1774	2,471	1827	2,620

	1050		1100		1150		1200		1250		1300		1350		1400		1450		1500	
	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$	Diam. [mm]	Sez. $[m^2]$
150																				
200																				
250																				
300																				
350																				
400																				
450																				
500																				
550																				
600																				
650																				
700																				
750																				
800																				
850																				
900																				
950																				
1000																				
1050	1148	1,035																		
1100	1175	1,084	1202	1,134																
1150	1201	1,132	1229	1,186	1257	1,240														
1200	1226	1,180	1256	1,238	1284	1,294	1312	1,351												
1250	1251	1,229	1281	1,288	1310	1,347	1339	1,407	1366	1,465										
1300	1275	1,276	1306	1,339	1336	1,401	1365	1,463	1393	1,523	1421	1,585								
1350	1299	1,325	1330	1,389	1361	1,454	1391	1,519	1420	1,583	1448	1,646	1476	1,710						
1400	1322	1,372	1354	1,439	1385	1,506	1416	1,574	1446	1,641	1475	1,708	1503	1,773	1530	1,838				
1450	1344	1,418	1377	1,489	1409	1,558	1440	1,628	1471	1,699	1500	1,766	1529	1,835	1557	1,903	1585	1,972		
1500	1366	1,465	1400	1,539	1433	1,612	1464	1,683	1495	1,755	1526	1,828	1555	1,898	1584	1,970	1612	2,040	1640	2,111
1550	1388	1,512	1422	1,587	1455	1,662	1488	1,738	1519	1,811	1550	1,886	1580	1,960	1610	2,035	1639	2,109	1667	2,181
1600	1409	1,558	1444	1,637	1478	1,715	1511	1,792	1543	1,869	1574	1,945	1605	2,022	1635	2,099	1665	2,176	1693	2,250
1650	1430	1,605	1465	1,685	1500	1,766	1533	1,845	1566	1,925	1598	2,005	1629	2,083	1660	2,163	1690	2,242	1719	2,320
1700	1450	1,651	1486	1,733	1521	1,816	1555	1,898	1589	1,982	1621	2,063	1653	2,145	1684	2,226	1715	2,309	1745	2,390
1750	1470	1,696	1507	1,783	1542	1,867	1577	1,952	1611	2,037	1644	2,122	1677	2,208	1708	2,290	1739	2,374	1770	2,459
1800	1489	1,740	1527	1,830	1563	1,918	1598	2,005	1633	2,093	1667	2,181	1700	2,269	1732	2,355	1763	2,440	1794	2,527
1850	1509	1,788	1546	1,876	1583	1,967	1619	2,058	1654	2,148	1689	2,239	1722	2,328	1755	2,418	1787	2,507	1819	2,597
1900	1527	1,830	1566	1,925	1603	2,017	1640	2,111	1676	2,205	1710	2,295	1744	2,388	1778	2,482	1810	2,572	1842	2,664
1950	1546	1,876	1585	1,972	1623	2,068	1660	2,163	1696	2,258	1732	2,355	1766	2,448	1800	2,543	1833	2,638	1866	2,733
2000	1564	1,920	1604	2,020	1642	2,117	1680	2,216	1717	2,314	1753	2,412	1788	2,510	1822	2,606	1856	2,704	1889	2,801
2050	1582	1,965	1622	2,065	1661	2,166	1699	2,266	1737	2,369	1773	2,468	1809	2,569	1844	2,669	1878	2,769	1911	2,867
2100	1600	2,010	1640	2,111	1680	2,216	1719	2,320	1756	2,421	1793	2,524	1830	2,629	1865	2,730	1899	2,831	1933	2,933
2150	1617	2,053	1658	2,158	1698	2,263	1738	2,371	1776	2,476	1813	2,580	1850	2,687	1886	2,792	1921	2,897	1955	3,000
2200	1634	2,096	1676	2,205	1716	2,312	1756	2,421	1795	2,529	1833	2,638	1870	2,745	1906	2,852	1942	2,961	1977	3,068
2250	1651	2,140	1693	2,250	1734	2,360	1775	2,473	1814	2,583	1852	2,693	1890	2,804	1927	2,915	1963	3,025	1998	3,134
2300	1667	2,181	1710	2,295	1752	2,410	1793	2,524	1832	2,635	1871	2,748	1909	2,861	1947	2,976	1983	3,087	2019	3,200
2350	1684	2,226	1727	2,341	1769	2,457	1810	2,572	1851	2,690	1890	2,804	1929	2,921	1966	3,034	2003	3,149	2040	3,267
2400	1700	2,269	1744	2,388	1786	2,504	1828	2,623	1869	2,742	1909	2,861	1948	2,979	1986	3,096	2023	3,213	2060	3,331
2450	1716	2,312	1760	2,432	1803	2,552	1845	2,672	1887	2,795	1927	2,915	1966	3,034	2005	3,156	2043	3,277	2080	3,396
2500	1731	2,352	1776	2,476	1820	2,600	1862	2,722	1904	2,846	1945	2,970	1985	3,093	2024	3,216	2062	3,338	2100	3,462
2550	1747	2,396	1792	2,521	1836	2,646	1879	2,772	1922	2,900	1963	3,025	2003	3,149	2043	3,277	2081	3,400	2119	3,525
2600	1762	2,437	1808	2,566	1852	2,693	1896	2,822	1939	2,951	1980	3,078	2021	3,206	2061	3,335	2100	3,462	2139	3,592
2650	1777	2,479	1823	2,609	1868	2,739	1912	2,870	1956	3,003	1998	3,134	2039	3,264	2079	3,393	2119	3,525	2158	3,656
2700	1792	2,521	1839	2,655	1884	2,786	1929	2,921	1972	3,053	2015	3,187	2057	3,322	2097	3,452	2137	3,585	2177	3,720
2750	1806	2,560	1854	2,698	1900	2,834	1945	2,970	1989	3,106	2032	3,241	2074	3,377	2115	3,512	2156	3,649	2195	3,782
2800	1821	2,603	1869	2,742	1915	2,879	1961	3,019	2005	3,156	2048	3,293	2091	3,432	2133	3,572	2174	3,710	2214	3,848
2850	1835	2,643	1883	2,783	1930	2,924	1976	3,065	2021	3,206	2065	3,347	2108	3,488	2150	3,629	2191	3,768	2232	3,911
2900	1849	2,684	1898	2,828	1945	2,970	1992	3,115	2037	3,257	2081	3,400	2125	3,545	2167	3,686	2209	3,831	2250	3,974
2950	1863	2,725	1912	2,870	1960	3,016	2007	3,162	2053	3,309	2097	3,452	2141	3,598	2184	3,744	2226	3,890	2268	4,038
3000	1877	2,766	1927	2,915	1975	3,062	2022	3,210	2068	3,357	2113	3,505	2158	3,656	2201	3,803	2243	3,949	2285	4,099

	1550		1600		1650		1700		1750		1800		1850		1900		1950		2000	
	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]	Diam. [mm]	Sez. [m^2]
150																				
200																				
250																				
300																				
350																				
400																				
450																				
500																				
550																				
600																				
650																				
700																				
750																				
800																				
850																				
900																				
950																				
1000																				
1050																				
1100																				
1150																				
1200																				
1250																				
1300																				
1350																				
1400																				
1450																				
1500																				
1550	1694	2,253																		
1600	1721	2,325	1749	2,401																
1650	1748	2,399	1776	2,476	1804	2,555														
1700	1774	2,471	1803	2,552	1831	2,632	1858	2,710												
1750	1800	2,543	1829	2,626	1857	2,707	1885	2,789	1913	2,873										
1800	1825	2,615	1854	2,698	1883	2,783	1912	2,870	1940	2,954	1968	3,040								
1850	1849	2,684	1880	2,775	1909	2,861	1938	2,948	1967	3,037	1995	3,124	2022	3,210						
1900	1874	2,757	1904	2,846	1934	2,936	1964	3,028	1993	3,118	2021	3,206	2049	3,296	2077	3,386				
1950	1897	2,825	1929	2,921	1959	3,013	1989	3,106	2019	3,200	2048	3,293	2076	3,383	2104	3,475	2132	3,568		
2000	1921	2,897	1952	2,991	1984	3,090	2014	3,184	2044	3,280	2073	3,373	2102	3,468	2131	3,565	2159	3,659	2186	3,751
2050	1944	2,967	1976	3,065	2008	3,165	2039	3,264	2069	3,360	2099	3,459	2128	3,555	2157	3,652	2185	3,748	2213	3,844
2100	1967	3,037	1999	3,137	2031	3,238	2063	3,341	2093	3,439	2124	3,541	2154	3,642	2183	3,741	2212	3,841	2240	3,939
2150	1989	3,106	2022	3,210	2054	3,312	2086	3,416	2118	3,522	2148	3,622	2179	3,727	2208	3,827	2238	3,932	2266	4,031
2200	2011	3,175	2044	3,280	2077	3,386	2110	3,495	2141	3,598	2173	3,707	2203	3,810	2233	3,914	2263	4,020	2292	4,124
2250	2033	3,245	2067	3,354	2100	3,462	2133	3,572	2165	3,680	2197	3,789	2228	3,897	2258	4,002	2288	4,109	2318	4,218
2300	2054	3,312	2088	3,422	2122	3,535	2155	3,646	2188	3,758	2220	3,869	2252	3,981	2283	4,092	2313	4,200	2343	4,309
2350	2075	3,380	2110	3,495	2144	3,608	2178	3,724	2211	3,838	2243	3,949	2275	4,063	2307	4,178	2338	4,291	2368	4,402
2400	2096	3,449	2131	3,565	2166	3,683	2200	3,799	2233	3,914	2266	4,031	2299	4,149	2330	4,262	2362	4,380	2393	4,495
2450	2116	3,515	2152	3,635	2187	3,755	2222	3,876	2256	3,995	2289	4,113	2322	4,233	2354	4,350	2386	4,469	2417	4,586
2500	2137	3,585	2173	3,707	2208	3,827	2243	3,949	2277	4,070	2311	4,193	2344	4,313	2377	4,435	2409	4,556	2441	4,677
2550	2157	3,652	2193	3,775	2229	3,900	2264	4,024	2299	4,149	2333	4,273	2367	4,398	2400	4,522	2432	4,643	2464	4,766
2600	2176	3,717	2213	3,844	2250	3,974	2285	4,099	2320	4,225	2355	4,354	2389	4,480	2422	4,605	2455	4,731	2487	4,855
2650	2196	3,786	2233	3,914	2270	4,045	2306	4,174	2342	4,306	2376	4,432	2411	4,563	2445	4,693	2478	4,820	2510	4,946
2700	2215	3,851	2253	3,985	2290	4,117	2327	4,251	2362	4,380	2398	4,514	2432	4,643	2466	4,774	2500	4,906	2533	5,037
2750	2234	3,918	2272	4,052	2310	4,189	2347	4,324	2383	4,458	2419	4,594	2454	4,727	2488	4,859	2522	4,993	2556	5,129
2800	2253	3,985	2292	4,124	2329	4,258	2367	4,398	2403	4,533	2439	4,670	2475	4,809	2510	4,946	2544	5,081	2578	5,217
2850	2272	4,052	2311	4,193	2349	4,332	2386	4,469	2423	4,609	2460	4,751	2496	4,891	2531	5,029	2566	5,169	2600	5,307
2900	2290	4,117	2329	4,258	2368	4,402	2406	4,544	2443	4,685	2480	4,828	2516	4,969	2552	5,113	2587	5,254	2621	5,393
2950	2308	4,182	2348	4,328	2387	4,473	2425	4,616	2463	4,762	2500	4,906	2537	5,053	2573	5,197	2608	5,339	2643	5,484
3000	2326	4,247	2366	4,394	2406	4,544	2444	4,689	2482	4,836	2520	4,985	2557	5,133	2593	5,278	2629	5,426	2664	5,571

5. Il valore della perdita di carico lineare (Δp_l) ricavato per il primo tronco (nell'esempio 0,57 Pa/m) viene mantenuto per tutti i successivi tronchi dell'impianto.
Si procede per ogni tronco ripetendo l'operazione (i valori consigliati di Δp_l sono compresi tra 0,6 e 0,8 Pa/m).
Utilizzando il grafico si ricava, dall'incrocio della perdita di carico (ordinate) e la portata del tronco (ascisse), il valore del diametro di riferimento *De* per ogni tronco, e utilizzando le tabelle di conversione si determinano le dimensioni *a* x *b* del canale rettangolare.
Per l'impianto ad esempio quindi avremo il seguente calcolo della rete:

Tronco	Portata [m³/s]	Δp_l [Pa/m]	*De* [mm]	Sezione *a* x *b* [mm]
B5-N3	0,15	0,59	240	200 x 250
B4-N5	0,15	0,59	240	200 x 250
N5-N2	0,3	0,49	490	300 x 300
B3-N5	0,15	0,59	240	200 x 250
B2-N3	0,2	0,57	270	250 x 250
N3-N2	0,35	0,57	340	200 x 500
N2-N1	0,65	0,60	420	300 x 500
B1-N1	0,2	0,57	270	250 x 250
N1-V0	0,85	0,57	470	250 x 800

Tabella 4.5

Le piccole differenze nel valore della perdita di carico lineare sono dovute al fatto che le dimensioni dei canali rettangolari sono standardizzate, pertanto essendo difficile ottenere esattamente, tramite il diagramma, una di tali sezioni, si dovrà optare per quello che più si avvicina.

6. L'impianto è ora dimensionato. Bisogna calcolare la perdita di carico della rete di distribuzione, che dovrà essere compensata dal ventilatore. Le perdita di carico della rete, è quella relativa al tronco o ramo maggiormente sfavorito.
Per ogni tronco si calcola la perdita di carico data dalla:

$$\Delta p_{t\,Ba\text{-}V0} = \Delta p_l\,(Leq_{1a} + Leq_{2a} + Leq_{3a} + \ldots + Leq_{na})$$

dove:
$\Delta p_{t\,Ba\text{-}V0}$ = perdita di carico tronco Ba-V0 [Pa]
Δp_l = perdita di carico per metro lineare [Pa/m]
Leq = lunghezza equivalente [m] di ogni elemento del tronco (canale diritto, curva, diramazione, riduzione ecc.)

I valori delle lunghezze equivalenti espresse in metri lineari, relative ai diversi elementi, possono essere determinate mediante lo schema riportato di seguito.

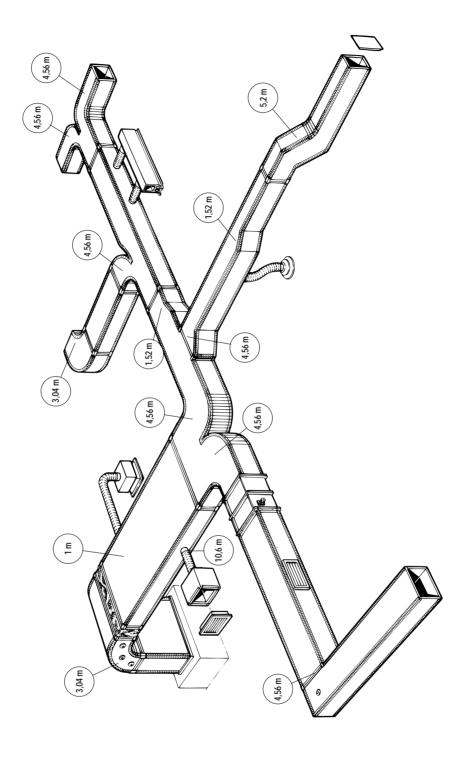



Fig. 4.3 - Lunghezze equivalenti relative alle accidentalità presenti in un impianto aeraulico

Per quanto riguarda l'esempio, il tronco più sfavorito risulta essere quello "B5-V0", dato dalla somma dei tronchi "B5-N3", "N3-N2", "N2-N1", "N1-V0" (vedi tabella 4.6).

Tronco	ΔL_p [Pa/m]	*Leq* [m]	Δp_t [Pa]
B5-N3	15	Bocchetta B5	
	0,59	C10 = 13	
		A3 = 5	
		C9 = 5	
		N3 = 10	
		Tot. = 33	19,5
N3-N2	0,57	C5 = 3	
		N2 = 1,52	
		Tot. = 4,52	2,58
N2-N1	0,60	C4 = 3	
		N1 = 4,56	
		Tot. = 7,56	4,54
N1-V0	0,57	C1 = 10	
		Tot. = 10	5,7
		$\Delta p_{t\,B5\text{-}V0}$	47,32

Tabella 4.6

È consigliabile maggiorare cautelativamente le perdite di carico di circa il 10%, (non oltre) ed eventualmente agire sulla serranda di taratura posta a valle dell'unità di trattamento in fase di bilanciamento.
L'unità di trattamento dell'impianto "esempio" dovrà avere quindi una pressione statica utile di almeno 52 Pa.

7. È necessario, a questo punto, verificare se l'impianto è bilanciato, ovvero se in prossimità di ogni nodo la perdita di carico per ogni tronco, in cui si suddivide il canale principale, è la stessa. Se così non fosse avremo un aumento di velocità nel tronco minore e un conseguente aumento indesiderato di portata. Se il valore dello sbilanciamento è inferiore a 10 Pa si può rimandare la correzione alle serrande di taratura poste negli organi di diffusione, mentre se lo sbilanciamento è maggiore di 10 Pa si può agire sulle dimensioni del condotto o più semplicemente inserire una serranda di taratura che verrà oppurtunamente regolata in fase di taratura.

Nell'impianto "esempio" troviamo uno sbilanciamento tra il tronco B5-N1 e il tronco B1-N1 (vedi tabella 4.7).

Tronco	Δp_l [Pa/m]	*Leq* [m]	Δp_t [Pa]
B5-N3		Bocchetta B5	15
	0,59	C10 = 13	
		A3 = 5	
		C9 = 5	
		N3 = 10	
		Tot. = 33	19,5
N3-N2	0,57	C5 = 3	
		N2 = 1,52	
		Tot. = 4,52	2,58
N2-N1	0,60	C4 = 3	
		N1 = 4,56	
		Tot. = 7,56	4,54
		$\Delta p_{t\ B5-N1}$	41,62
Diffusore B1			10
B1-N1	0,57	C3 = 3	
		A1 = 4,56	
		C2 = 6	
		N1 = 4,56	
		Tot. = 18,12	10,33
		$\Delta p_{t\ B1-N1}$	20,33

Tabella 4.7

Lo sbilanciamento risulta di (41, 62-20,33) = 21,29 Pa. In questo caso conviene prevedere una serranda di taratura nel tronco B1-N1 subito a valle della diramazione N1 (nello schema unifilare è indicata con A4).

5.1 Glossario

I metodi oggi utilizzati per misurare la superficie di una rete di canalizzazioni sono molteplici, spesso sono complicati e tutti portano a risultati differenti.
Premesso che è in discussione in ambito europeo una bozza di norma su questo tema, la P3 ha ritenuto importante sviluppare un sistema specifico per i canali in alluminio preisolati, efficace e semplice da utilizzare anche in cantiere, per determinare il valore di superficie occorrente per realizzare un impianto aeraulico mediante pannelli P3ductal.
Tale metodo di misura, se da un lato ottimizza il valore della superficie richiesta, dall'altro tiene conto degli scarti che si hanno nella lavorazione dei pannelli sandwich.

1. Dimensioni nominali: si intendono le misure interne dei lati del canale, indicata in fig. 5.1 con *a* e *b* [m]:

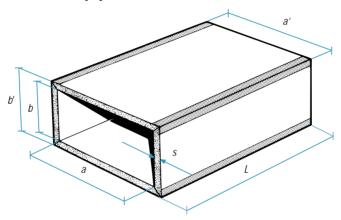



Fig. 5.1 - Parametri di calcolo

2. Sezione di passaggio dell'aria: è dato dal prodotto delle dimensioni nominali,
$S_p = a \times b$ [m²].

3. Dimensioni esterne: si intendono le misure esterne dei lati del canale, indicate con *a*' e *b*' dove:
$a' = a + 2 \times s$ [m];
$b' = b + 2 \times s$ [m].

4. Spessore del materiale: spessore del pannello sandwich costituente il canale *s* [m].

5. Lunghezza effettiva: lunghezza fisica del pezzo *L* [m].

6. Lunghezza utile: lunghezza fittizia per il calcolo della superficie apparente L_u [m].

7. Superficie apparente: superficie utile per il conteggio S_{app} [m²].

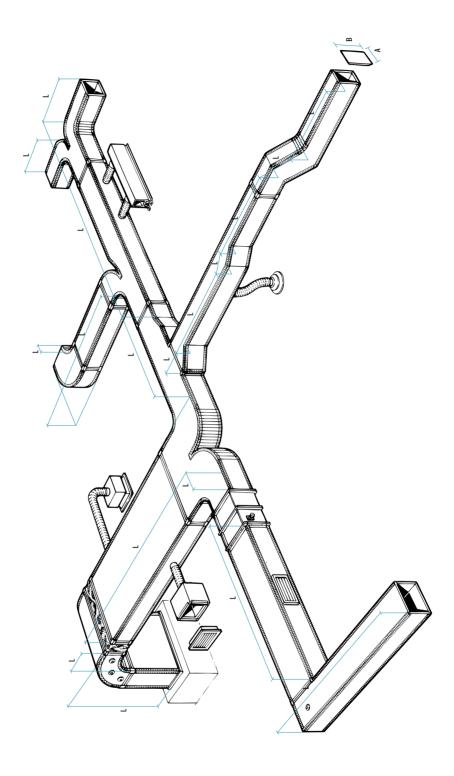



Fig. 5.2 - Misurazione dei canali P3ductal

5

5.2 Canali diritti

$L = L_u$

$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_u$ [m²]

Nel caso in cui ci sia un fondello, il valore della sua superficie vale:

$S_{app} = a' \times b'$ [m²]

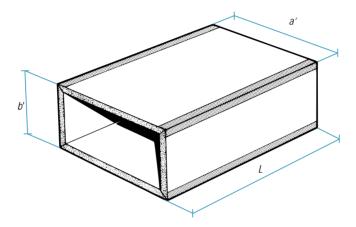



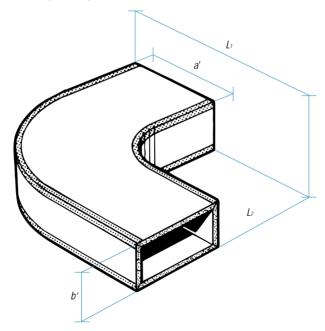
Fig. 5.3 - Canale diritto

5.3 Curve

$L_u = L_1 + L_2$ [m]

$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_u$ [m²]

Fig. 5.4 - Curva

5

5.4 Alette direttrici nelle curve

La superficie S_{app} delle n alette direttrici vale:

$$S_{app} = \sum_{i=1}^{n} [(r + a_i) \times 6{,}28/4 + 0{,}3] \times b \, [m^2]$$

dove 0,3 è un coefficiente che compensa la maggiore superficie di estensione dell'aletta direttrice e r = 0,15 m.

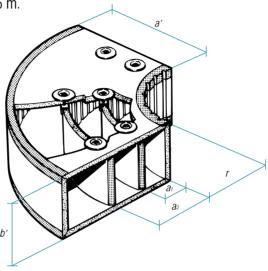



Fig. 5.5 - Alette direttrici nelle curve

Secondo quanto riportato nella tabella B.1 (Posizionamento delle alette direttrici) del prEN 1505 (vedi riferimento bibliografico) risulta per esempio, nel caso di 2 alette direttrici:

$a_1 = a/4$ [m]

$a_2 = a/2$ [m]

5.5 Riduzioni

Sia che la riduzione si trovi su un solo lato, e sia che essa si trovi su più lati, il valore della superficie apparente si determina nel seguente modo:

$L_u = L_1 / \cos \alpha$ [m]

$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_u$ [m²]

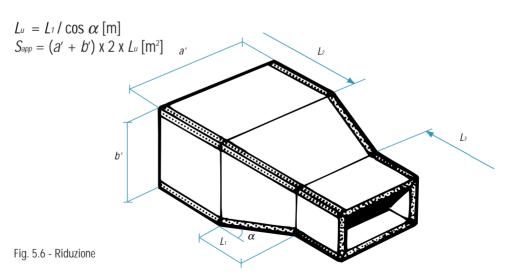



Fig. 5.6 - Riduzione

I tratti di riduzione quotati in fig. 5.6 con L_2 ed L_3, vanno considerati come canali diritti, pertanto il calcolo della loro superficie va eseguito secondo quanto riportato nel cap. 5.2.

5.6 Innesti o stacchi a scarpetta

$L_1 = L_2$ [m]

$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_u$ [m²]

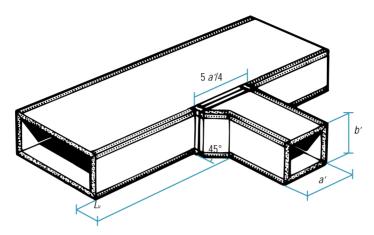



Fig. 5.7 - Innesto o stacco a scarpetta

5.7 Spostamenti

$L_u = L_1$ [m] dove $L_1 = L_2/\cos\alpha$ [m]

$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_u$ [m²]

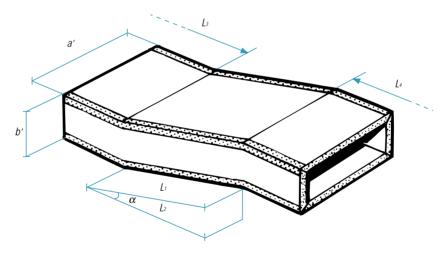



Fig. 5.8 - Spostamento

Come per la riduzione anche per lo spostamento i tratti quotati in fig. 5.8 con L_3 ed L_4 vanno considerati come canali diritti.

5.8 Derivazioni

$S_{app} = (a' + b') \times 2\ L_1 + (c' + d') \times 2 \times L_2\ [m^2]$

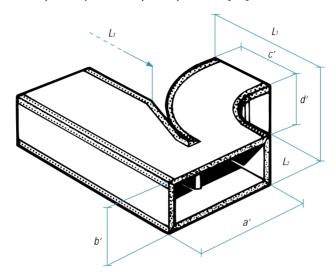



Fig. 5.9 - Derivazione dinamica

Ancora una volta il tratto quotato in fig. 5.9 con L_3 va considerato come canale diritto.

dove $a' = a_1 + a_2$ [m]

$S_{app} = (a_1 + b') \times 2 \times L_1 + (a_2 + b') \times 2 \times L_2 + (c' + d') \times 2 \times L_3 + (e' + f') \times 2 \times L_4\ [m^2]$

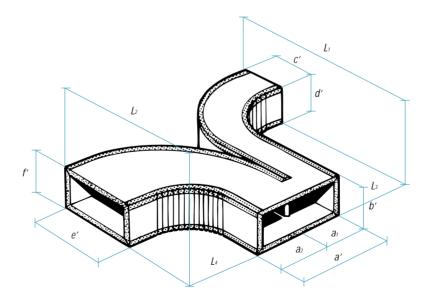



Fig. 5.10 - Derivazione asimmetrica

$L_1 = L_3$ [m];
$L_3 = L_4$ [m];
$S_{app} = (a' + b') \times 2 \times L_1 + ((c' + d') \times 2 \times L_2) \times 2$ [m^2]

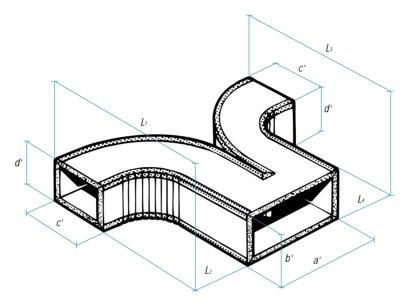



Fig. 5.11 - Derivazione simmetrica

6

6.1. Risparmio energetico dovuto all'isolamento termico

In fase di progettazione di un impianto di climatizzazione, è importante considerare, oltre ai costi iniziali, anche i costi di gestione.
Come tutti i componenti dell'impianto anche la rete aeraulica può contribuire a realizzare sensibili economie.
Un buon risparmio unitario di energia dovuto a:

- buon isolamento termico
- basse perdite per fuoriuscita

moltiplicato per la superficie interessata e per il numero di ore di funzionamento giornaliero dell'impianto, per i giorni dell'anno, durante i quali l'impianto è operativo, può assicurare delle notevoli economie.
L'esempio riportato di seguito chiarisce quanto sopra esposto.
si ipotizzi di realizzare una rete aeraulica di circa 500 m^2, pari a 4000 - 4500 kg di lamiera per un impianto che eroghi circa 9000 - 9500 m^3/h in un edificio per uffici di circa 600 - 650 m^2.

I materiali per realizzare le condotte sono:
soluzione tipo 1) Canali in lamiera zincata rivestita con materassino in neoprene da 8 mm, $\lambda = 0{,}033$ W/(m°C).
soluzione tipo 2) Canali in lamiera zincata rivestita con materassino in lana di vetro da 15 mm, $\lambda = 0{,}038$ W/(m°C), ricoperto da alluminio.
soluzione tipo 3) Canali P3ductal spessore 20 mm, $\lambda = 0{,}022$ W/(m°C).

La quantità di calore Q disperso o assorbito dalla rete aeraulica, a seconda che le condotte trasportino aria con temperatura rispettivamente maggiore o minore di quella esterna, è direttamente proporzionale alla trasmittanza *U*, alla superficie interessata *S*, e alla differenza di temperatura dell'aria tra l'interno e l'esterno del canale $t_1 - t_2$.

$$Q = U\,S\,(t_1 - t_2)$$

I valori della trasmittanza *U*, riportati sulla riga A della tabella 6.1, rappresentano la quantità di calore per unità di tempo che attraversa la parete del canale per ogni metro quadro, quando la differenza di temperatura è di 1°C. I valori tengono in considerazione il fatto che l'aria all'interno del canale è in movimento e quindi favorisce la dispersione termica, mentre viene trascurato l'apporto isolante della lamiera zincata in quanto insignificante.
Si è ipotizzato il funzionamento estivo dell'impianto e si è considerato che le condotte siano installate in controsoffitto o comunque, come generalmente accade, non nello stesso ambiente in cui é immessa l'aria e che la differenza di temperatura tra aria interna, circa 17°C e quella esterna, circa 32°C sia di 15°C.

Nella tabella viene riportato il flusso termico trasmesso ogni ora dai diversi tipi di impianto ipotizzati (riga B).
Considerando che l'impianto preso in esame funzioni 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana per 4 mesi per un totale di 670 ore circa, otteniamo la seguente tabella:

	Soluzione	UM	Tipo 1	Tipo 2	Tipo3
	Spessore *s*	m	0,008	0,015	0,020
	Conduttività termica λ	W/(m °C)	0,033	0,038	0,022
	Resist. mat. isolante	(m² °C)/W	0,242	0,395	0,91
	Resist. liminare interna	(m² °C)/W	0,043	0,043	0,043
	Resist. liminare esterna	(m² °C)/W	0,122	0,122	0,122
	Resist. totale	(m² °C)/W	0,407	0,56	1,07
A	Trasmittanza termica *U*	W/(m² °C)	2,46	1,79	0,93
	Superficie *S*	m²	500	500	500
	Differenza temper. (t_1-t_2)	°C	15	15	15
B	Flusso termico	kW	18,45	13,42	6,97
C	Dispersione (riferita a 670 ore)	kWh	12.361	8.991	4.670
D	Dispersione percentuale	%	100	73	38
E	Risparmio percentuale	%	0	27	62

Tabella 6.1

Com'è evidente dalla riga C la dispersione di energia risulta notevolmente inferiore nell'ipotesi di utilizzo di canali in alluminio preisolati.
Il risparmio % (riga E) è dato dalla differenza dei valori della dispersione % (riga D).

6.2 Coefficiente di forma

Spesso si può ridurre il costo della rete aeraulica con semplici accorgimenti:

1) riducendo al minimo indispensabile il numero di pezzi speciali;
2) tenendo in giusta considerazione il coefficiente di forma.

È possibile ridurre il numero di pezzi speciali (curve, riduzioni, spostamenti , derivazioni) studiando con cura il percorso fattibile più rettilineo possibile della rete aeraulica.
Prendere visione del cantiere, considerare gli ostacoli non sempre individuabili nei disegni, quali impianti tecnologici preesistenti, differenze di quota, pluviali ecc., può contribuire a evitare modifiche in corso d'opera e conseguente spreco di materiale, di tempo e di denaro.
Particolare importanza assume, inoltre, il coefficiente di forma, ovvero il rapporto tra il lato maggiore e il lato minore del canale. Come è evidenziato nella tabella 6.2, il costo dei canali aumenta all'aumentare di questo rapporto poiché bisogna utilizzare più materiale, per unità di lunghezza di canale, a parità di diametro equivalente.
Generalmente si sconsiglia, anche dal punto di vista aerodinamico, di superare il rapporto 4/1.

Dim. *a* [mm]	Dim. *b* [mm]	Sezione [m²]	De [mm]	CF	Superficie [m²]	Maggiorazione %
500	500	0,25	545	1:1	2,16	0
700	350	0,25	539	2:1	2,26	5
900	300	0,27	550	3:1	2,56	19
1150	250	0,29	546	4,6:1	2,96	37

Tabella 6.2

Dove installare i canali P3ductal

7.1 Condizioni d'impiego

Ogni installazione di un impianto HVAC (riscaldamento, ventilazione, condizionamento d'aria) richiede specifici criteri progettuali e di conseguenza i particolari costruttivi ed i consigli qui di seguito riportati, hanno carattere informativo e si basano su prove di laboratorio nonché sull'esperienza di impianti realizzati, con i pannelli sandwich, nel corso di oltre venti anni.
Grazie alla vasta gamma di pannelli a disposizione è possibile realizzare, attraverso le procedure P3ductal, canali adatti al trasporto dell'aria in tutti i tipi di impianti.
Evitare l'impiego dei canali P3ductal:

- per il trasporto delle polveri o gas corrosivi;
- per l'estrazione di fumi nelle cucine;
- se direttamente collegati a batterie elettriche o generatori di calore con temperature superiori a 65°C e con una distanza inferiore a 200 mm;
- se la velocità massima all'interno è superiore a 15 m/s;
- se le canalizzazioni vengono utilizzate per trasportare l'aria in funzionamento continuato con temperature inferiori a - 30°C e superiori a +65°C;
- se soggetti a pressione di esercizio superiore a quelli indicati nellafigura 7.1.

Nota: La pressione massima di esercizio dei canali cambia in funzione del tipo di pannello utilizzato e quindi della classe di rigidezza e del numero di rinforzi inseriti (vedi capitolo "Rinforzi" sul manuale di costruzione).

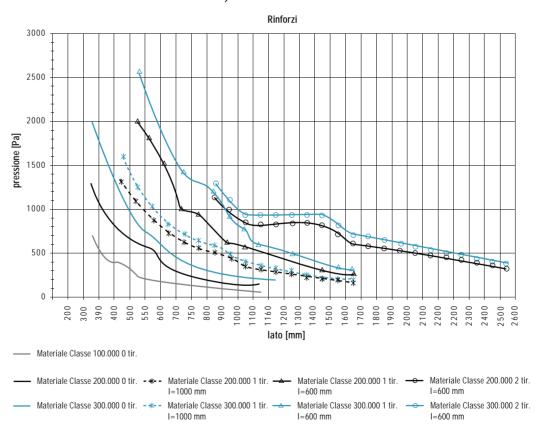



Fig. 7.1 - Pressioni massime di esercizio per i pannelli P3ductal

7.2 Le installazioni all'esterno

La P3 ha predisposto per le condotte installate all'esterno, degli appositi pannelli con specifiche caratteristiche meccaniche e termoisolanti.
Tutti i canali che sono esposti direttamente alle intemperie e alle irradiazioni solari devono essere realizzati con gli appositi pannelli della gamma P3ductal (serie Outsider) avere sicuri collegamenti meccanici e devono essere sottoposti ad un trattamento sigillante.

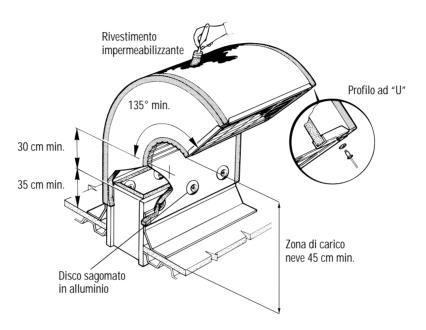



Fig. 7.2 - Installazione all'esterno di un canale P3ductal

Il trattamento esterno del canale per la tenuta consiste in un'applicazione supplementare di un apposito prodotto Gum Skin (vedi documentazione tecnica P3), al fine di dare una tenuta d'aria e d'acqua, sopportare temperature comprese tra -35°C e +80°C e garantire la resistenza alle dilatazioni. Se il canale viene esposto al sole direttamente, deve resistere anche ai raggi ultravioletti e all'ozono.
Composti a base di bitume non devono essere utilizzati per preparare le tenute dei canali.
Dove è previsto l'inserimento di giunti per l'isolamento dalle vibrazioni fra le macchine ed i canali, questi devono essere impenetrabili all'acqua.
Qualora i canali di espulsione o le prese d'aria esterna attraversino il tetto debbono essere muniti nella parte terminale di curve per evitare l'ingresso di acqua e neve. I progettisti, nello specificare i criteri costruttivi, devono tenere in considerazione che l'elevazione dei canali può essere influenzata dal carico di neve, dalla direzione e dalla velocità del vento, a seconda della località, nonchè da considerazioni estetiche.
L'apertura dovrà essere dotata di apposita griglia antivolatile (vedi fig. 7.2).

I canali devono essere sollevati da terra e staffati almeno ogni 2 m, con appositi accorgimenti volti ad evitare il sollevamento da parte del vento. I canali, inoltre, qualora posti orizzontalmente, devono essere installati con una pendenza sufficiente a drenare l'acqua. Si deve considerare che la pressione dei canali, eventualmente carichi di neve e/o vento va a scaricarsi direttamente sul sistema di staffaggio.
Per limitare gli sforzi della neve e/o vento sui lati del canale è consigliabile, per le installazioni all'estero, realizzare i canali a sezione quadrata.
Mediante il grafico riportato in figura 7.3 é possibile determinare il carico limite di sopportazione dei pannelli Outsider, in funzione del lato caricato dalla neve e/o vento, per i canali in depressione (ripresa) e in pressione (mandata).

N.B. Le curve del grafico già tengono in considerazione l'eventualità che l'impianto sia spento, e quindi che la pressione interna sia nulla.

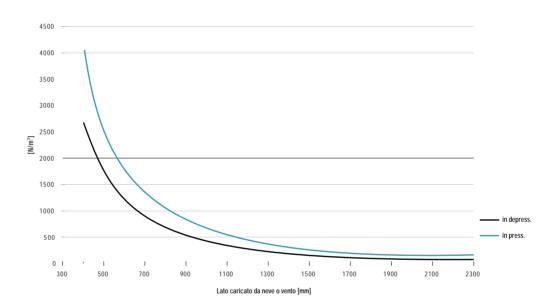



Fig. 7.3 - Carico utile di neve e/o vento per pannelli Piral HD Outsider (classe di rigidezza R=900000)

La costruzione dei canali posti all'esterno, realizzati con pannelli Outsider aventi classe di rigidezza R=900000, dovrà avvenire utilizzando le curve per i pannelli con classe R=300000 (vedi fig. 7.1).

7.3 Le installazioni interrate

È possibile installare le condotte P3ductal sotto il livello del suolo adottando gli accorgimenti riportati nel disegno. In particolare è necessario evitare che il peso dei materiali di riempimento, terra o sabbia, vadano a premere contro le pareti della condotta e che il cavedio di alloggiamento dia idonea garanzia di drenaggio dell'acqua che potrebbe infiltrarsi all'interno.
Per la realizzazione delle condotte interrate è preferibile utilizzare i pannelli della serie outsider, dotati di alluminio in grado di offrire maggiore resistenza agli urti meccanici che possono verificarsi in fase di installazione.

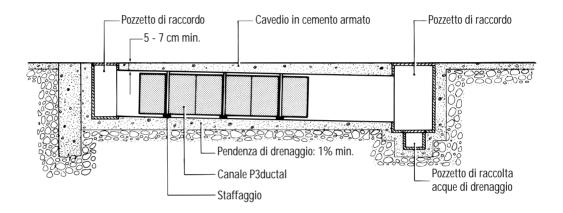



Fig. 7.4 - Installazione interrata di un canale P3ductal

Vengono qui riportate le linee guida per la stesura delle specifiche di capitolato. Tutte le parti in neretto e sottolineate fanno riferimento ad un generico esempio e devono essere adattate ad ogni specifico progetto riportando i relativi dati.

I canali di termoventilazione e condizionamento in alluminio preisolati, installati all'interno dell'ospedale nel reparto degenze ammalati, saranno realizzati con pannelli sandwich tipo PIRAL XTRA con le seguenti caratteristiche:

- alluminio esterno: spessore 0,08 mm protetto con lacca poliestere;
- alluminio interno: spessore 0,08 mm protetto con lacca poliestere;
- componente isolante: poliuretano espanso densità 48-50 kg/m^3;
- spessore: 20 mm;
- conduttività termica: 0,022 W/(m^2 °C) a 10°C;
- reazione al fuoco: classe "0" -"1";
- classe di rigidezza: R 200.000;
- Altre caratteristiche: specificare.

I canali preisolati nel loro complesso saranno classificati nella classe "0" di reazione al fuoco cioè incombustibili.

Il solo componente isolante sarà classificato di classe "1".

I canali saranno costruiti in base agli standard P3ductal.
Ove necessario, i canali saranno dotati di appositi rinforzi in grado di garantire, durante l'esercizio, la tenuta meccanica alla pressione interna massima di 500 Pa.
La deformazione massima del condotto non dovrà superare il 3% della larghezza o comunque 30 mm.

Le giunzioni fra canale e canale saranno realizzate per mezzo di apposite flange del tipo "invisibile" con baionetta a scomparsa e garantiranno una idonea tenuta pneumatica e meccanica.

Le curve e i pezzi speciali saranno provvisti, ove indicato, di alette deflettrici.

La lunghezza massima di ogni singolo canale sarà di 4 m.

I canali saranno sostenuti da appositi supporti con intervalli di non più di 4 m se il lato maggiore del condotto è inferiore ad 1 m, e ad intervalli di non più di 2 m se il lato maggiore del condotto è superiore ad 1 m.

Gli accessori quali: serrande di taratura, serrande tagliafuoco, diffusori, batterie a canale ecc., saranno sostenuti in modo autonomo in modo che il loro peso gravi sui canali.

I canali saranno dotati, ove indicato, degli appositi punti di controllo per le sonde anemometrice e di portelli d'ispezione per la pulizia ed il controllo distribuiti lungo il percorso.
I portelli potranno essere realizzati utilizzando lo stesso pannello sandwich che forma il canale, in combinazione con gli appositi profili. I portelli saranno dotati di guarnizione che assicuri la tenuta pneumatica.

I collegamenti tra le unità di trattamento aria ed i canali saranno realizzati mediante appositi giunti antivibranti, allo scopo di isolare dalle vibrazioni. I canali saranno supportati autonomamente per evitare che il peso del canale stesso venga trasferito sugli attacchi flessibili. Inoltre il collegamento con l'unità di trattamento aria renderà possibile la disgiunzione per la normale manutenzione dell'impianto. Qualora i giunti antivibranti siano posti all'esterno, questi saranno impenetrabili all'acqua.

Nei tratti esposti all'esterno i canali saranno realizzati con pannelli sandwich tipo PIRAL HD OUTSIDER con le seguenti caratteristiche:

- alluminio esterno: spessore 0,2 mm goffrato protetto con lacca poliestere;
- alluminio interno: spessore 0,08 mm goffrato protetto con lacca poliestere;
- componente isolante: poliuretano espanso densità 43-45 kg/m^3;
- spessore: 30 mm;
- conduttività termica: 0,022 W/(m2 °C) a 10°C;
- reazione al fuoco: classe "0" - "2";
- classe di rigidezza: R 900.000;

e saranno protetti con una resina impermeabilizzante (tipo Gum Skin).
Composti a base di bitume non devono essere utilizzati.

- Altre caratteristiche: specificare

I canali posti all'esterno saranno staffati ogni 2 m e sollevati da terra con apposite controvetture e, qualora posti orizzontalmente, devono essere installati con una pendenza sufficiente a drenare l'acqua.

Qualora i canali attraversino il tetto saranno muniti nella parte terminale di curve a "collo d'oca" allo scopo di evitare l'ingresso di acqua e neve.

Tutte le aperture dei canali verso l'esterno, espulsione, presa d'aria esterna, ecc.) saranno provvisti di apposita griglia antivolatile.

I canali saranno costruiti in base agli standard P3ductal.
Ove necessario, i canali saranno dotati di appositi rinforzi in grado di garantire, durante l'esercizio, la tenuta meccanica alla pressione interna massima di 500 Pa. I canali dovranno sopportare un carico limite di neve e/o vento pari a 400 N/m^2.

1. Ashare Handbook “1997 Fundamentals”, Ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta.

2. C. Pizzetti “Condizionamento dell’aria e refrigerazione” Tamburini Ed. Milano 1970.

3. Smacna “Hvac Systems Duct Design”, Ed. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors’ National Association, Virginia.

4. M. E. Schaffer “Guida pratica al controllo del rumore e delle vibrazioni”, Ed. PEG Milano 1993.

5. Ian sharland “L’attenuazione del rumore”, Ed. Woods Italiana, 1994.

6. System design Manual Carrier “Distribuzione dell’aria”, Ed. Tecniche Nuove Milano.

7. Air-Conditioning and Refrigeration Institute “Refrigeracion y aire acondicionado”, PHH Prentice Hall.

8. U. Alberti di Catenajo “La manutenzione degli impianti di ventilazione e condizionamento”, n° 11 novembre 1996 CDA.

9. Bernardo Galosi “Importanza delle fughe d’aria dai canali degli impianti di climatizzazione”, n° 11/89 RC.

10. Anpe “Comportamento igrometrico delle pareti -Quando e dove si forma la condensa - Verifica delle pareti con il diagramma di Glaser”, Associazione Nazionale Poliuretano Espanso rigido, n° 1/96 ANPE.

11. Marco Masoero “Come respirare aria pulita”, n° 4 aprile 1997 L’installatore Europeo.

12. CEN /TC 156/WG3/SWG “Ductwork made of insulation ductsboards”, “Ductwork standard”.